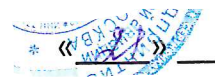


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное унитарное предприятие
Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
(ФГУП ГосНИИ ГА)

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ФГУП ГосНИИ ГА
канд. техн. наук

 Зобылев Д.В.
 08 2026 г.
М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Торосьяна Анатолия Анатольевича
«Метод динамической корректировки нормативов пропускной способности секторов
обслуживания воздушного движения на основе гибридной нечёткой модели»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной
техники»

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа направлена на решение одной из центральных проблем современной аэронавигации – оперативной оценке и динамической корректировке пропускной способности секторов обслуживания воздушного движения (ОВД). Одним из важнейших показателей эффективности функционирования системы организации воздушного движения (ОрВД) является нормативная пропускная способность секторов ОВД. Применяемые в настоящее время методы её определения основаны на статических характеристиках сектора ОВД и не обеспечивают оперативного учёта изменений интенсивности воздушного движения, структурной сложности воздушной обстановки и ограничений использования воздушного пространства.

В условиях реализации положений Глобального аэронавигационного плана ИКАО (GANP), внедрения концепций свободной маршрутизации воздушного пространства, а также введения беспрецедентного количества оперативных ограничений на использование воздушного пространства традиционные статические подходы к нормированию пропускной способности уже не обеспечивают в полной мере учёт изменяющихся условий воздушной обстановки. При неизменной интенсивности воздушного движения фактическая нагрузка на диспетчера УВД может существенно различаться в зависимости от структуры потоков воздушных судов (ВС), уровня их потенциальной конфликтности, особенностей вертикального профиля полётов, метеорологических условий, ограничений использования воздушного пространства и других факторов.

В этой связи решение задачи динамической корректировки нормативной пропускной способности на основе комплексного учёта перечисленных факторов представляется своевременным, научно обоснованным и практически востребованным. Предложенная в диссертации гибридная нечёткая модель соответствует современным тенденциям развития систем ОрВД и обеспечивает переход от статического нормирования к адаптивной динамической корректировке пропускной способности секторов ОВД в интересах повышения безопасности, эффективности и предсказуемости воздушного движения.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертация Торосяна А.А. на тему «Метод динамической корректировки нормативов пропускной способности секторов обслуживания воздушного движения на основе гибридной нечёткой модели» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова».

Целью работы явилось повышение эффективности функционирования системы организации воздушного движения (ОрВД) путём разработки научно обоснованного метода динамической корректировки пропускной способности секторов ОВД на основе нечёткого вывода.

Для достижения цели соискателем решены следующие основные задачи:

1. Проведен анализ факторов, влияющих на пропускную способность и загруженность секторов ОВД, и обосновано их представление в виде совокупности входных параметров модели.

2. Разработана математическая модель динамической корректировки пропускной способности сектора ОВД на основе аппарата нечёткой логики.

3. Разработан метод количественной оценки структурной сложности воздушной обстановки на основе параметров взаимодействия ВС.

4. Разработан метода учёта ограничений использования воздушного пространства при оценке пропускной способности сектора ОВД.

5. Разработан метод корректировки нормативной пропускной способности секторов ОВД.

6. Разработан программный комплекс системы поддержки принятия решений (СППР), реализующий разработанную модель, и выполнена функциональная проверка корректности расчёта коэффициента динамической корректировки нормативной пропускной способности на наборе расчётных сценариев.

Объектом исследования явилась система организации воздушного движения, процессы обслуживания воздушного движения и оценки пропускной способности секторов ОВД, а предметом – методы динамической оценки и коррекции нормативной пропускной способности секторов ОВД.

Структура и объем диссертации отражают внутреннее единство в достижении цели исследования, соответствуют требованиям к научно-квалификационной работе, в которой решена задача корректировки нормативной пропускной способности секторов ОВД на основе нечёткой модели.

Диссертация изложена на 197 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 21 таблицу, в приложении содержатся два акта внедрения результатов исследований, а также два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Список литературы включает 154 наименования. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи работы, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены сведения об их апробации и публикации.

В первой главе выполнен комплексный анализ современного состояния методов оценки пропускной способности секторов ОВД, рассмотрены отечественные и зарубежные подходы к нормированию пропускной способности, проведён анализ нормативных документов Международной организации гражданской авиации (ИКАО), Федерального агентства воздушного транспорта России, EUROCONTROL и Федерального авиационного управления США (FAA). Особое внимание уделено вопросам перехода от статических методов определения пропускной способности к динамическим подходам, основанным на оценке текущего состояния воздушной обстановки. На основании проведённого анализа автором убедительно показано, что применяемые в настоящее время методы определения нормативной пропускной способности секторов ОВД преимущественно ориентированы на статические характеристики секторов ОВД и не позволяют учитывать изменения эксплуатационной обстановки в реальном масштабе времени, что обусловило дальнейшее выполнение диссертационного исследования.

Во второй главе разработана гибридная нечёткая модель динамической корректировки нормативной пропускной способности секторов ОВД. Предложена архитектура модели, основанная на использовании аппарата нечёткой логики Мамдани (Ebrahim Mamdani), позволяющая интегрировать количественные оценки интенсивности воздушного движения, структурной сложности воздушной обстановки и доступности воздушного пространства в единый показатель, характеризующий текущее эксплуатационное состояние сектора ОВД. Обоснован выбор входных параметров модели, сформирована система лингвистических переменных и функций принадлежности, разработана база правил нечёткого вывода, обеспечивающая интерпретируемость принимаемых решений и возможность экспертной настройки модели.

В третьей главе разработан научно-методический аппарат количественной оценки факторов, оказывающих влияние на фактическую пропускную способность

сектора ОВД. Предложены метод определения коэффициента доступности воздушного пространства, учитывающий пространственно-временную структуру ограничений использования воздушного пространства, а также модель оценки структурной сложности воздушной обстановки, основанная на анализе прогнозируемых потенциально конфликтных ситуаций между ВС. Следует отметить, что разработанные методы ориентированы на использование объективных количественных показателей, формируемых на основе текущей аэронавигационной информации, что позволяет минимизировать влияние субъективных экспертных оценок и повысить воспроизводимость получаемых результатов.

В четвёртой главе представлены результаты программной реализации разработанной гибридной нечёткой модели, её параметрической настройки и экспериментальной проверки. Разработан программный модуль, реализующий предложенный алгоритм динамической корректировки нормативной пропускной способности секторов ОВД, проведена его верификация и выполнена оценка работоспособности на примере секторов районного диспетчерского центра Санкт-Петербург.

Положения, выносимые на защиту:

- метод динамической корректировки нормативной пропускной способности секторов ОВД на основе аппарата нечёткой логики, позволяющий обеспечить формирование коэффициента коррекции нормативной пропускной способности ($K_{кор}(t)$) с учётом относительного объёма воздушного движения, структурной сложности воздушной обстановки и доступности воздушного пространства;

- метод количественной оценки структурной сложности воздушной обстановки на основе прогнозируемых потенциально конфликтных ситуаций, формируемых средствами среднесрочного обнаружения конфликтов (MTCD), позволяющий учитывать типы взаимодействия ВС, геометрию их конфликтных связей и вертикальную динамику;

- метод учёта ограничений использования воздушного пространства на основе коэффициента доступности воздушного пространства, обеспечивающий корректировку пропускной способности секторов ОВД с учётом метеорологических, режимных и иных ограничений воздушного пространства;

- алгоритм динамической корректировки нормативной пропускной способности, реализующий возможное адаптивное управление допустимой загрузкой секторов ОВД.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается в следующем.

При проведении диссертационных исследований автором получен ряд результатов, которые можно квалифицировать как соответствующие критерию новизны, используемому при оценке кандидатских диссертаций. В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты, подтверждаемые публикациями в рецензируемых журналах:

- предложен новый подход к динамической корректировке пропускной способности секторов ОВД;
- введён коэффициент коррекции нормативной пропускной способности секторов ОВД;
- разработан метод количественной оценки структурной сложности воздушной обстановки на основе прогнозируемых потенциально конфликтных ситуаций, формируемых средствами среднесрочного обнаружения конфликтов МТСД;
- разработан метод учёта ограничений воздушного пространства на основе коэффициента доступности воздушного пространства, позволяющий формализовать влияние погодных, режимных и иных ограничений на пропускную способность секторов ОВД в рамках единой модели корректировки пропускной способности.

Представленные результаты обладают признаками научной новизны, соответствуют заявленной специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» и вносят вклад в развитие методов оценки и управления пропускной способностью секторов ОВД.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научно-методических основ оценки пропускной способности секторов ОВД в условиях изменяющейся аэронавигационной обстановки.

Автором предложен новый подход к динамической корректировке нормативной пропускной способности, основанный на комплексном учёте факторов, характеризующих текущее состояние воздушной обстановки.

Полученные результаты развивают научные положения в области оценки пропускной способности секторов ОВД и могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на создание адаптивных методов управления воздушным движением, развитие технологий динамической секторизации воздушного пространства и интеллектуальных систем поддержки принятия решений в системах ОрВД.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования разработанных моделей, алгоритмов и программных средств при совершенствовании технологий ОрВД.

Разработанная автором гибридная нечёткая модель динамической корректировки нормативной пропускной способности может быть использована при создании перспективных систем поддержки принятия решений органов ОВД, ориентированных на оперативную оценку текущего состояния воздушной обстановки и адаптацию эксплуатационных характеристик секторов ОВД.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научно-исследовательской деятельности, при разработке перспективных технологий ОрВД, а также в образовательном процессе высших учебных заведений, осуществляющих подготовку специалистов в области аэронавигации и организации воздушного движения.

Соответствие результатов исследования современным направлениям развития аэронавигационной системы

Полученные в диссертации результаты соответствуют современным направлениям развития аэронавигационной системы, определяемым положениями Глобального аэронавигационного плана ИКАО (GANP), и ориентированы на развитие методов адаптивного управления воздушным движением. Предложенный научно-методический подход способствует переходу от статического нормирования пропускной способности к её динамической оценке с учётом текущего состояния

воздушной обстановки, что отвечает современным требованиям к повышению безопасности полётов и эффективности использования воздушного пространства.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью используемого математического аппарата теории нечётких множеств, системного анализа и вычислительного эксперимента, согласованностью результатов моделирования с физическим содержанием исследуемых процессов, программной реализацией разработанной модели, а также её экспериментальной апробацией на примере секторов районного диспетчерского центра Санкт-Петербург. Полученные результаты согласуются с поставленными задачами исследования, а сформулированные выводы являются обоснованными и подтверждаются представленными в диссертации материалами, а также наличием двух свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация результатов исследования

Диссертационная работа прошла достаточную апробацию на всероссийских научных конференциях. Материалы диссертационного исследования опубликованы в 10 научных публикациях, в том числе 4 статьях в научных изданиях из перечня ВАК при Минобрнауки России. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в постановке научной задачи, разработке структуры и математической модели динамической корректировки пропускной способности секторов ОВД, формировании базы правил нечёткого вывода, разработке метода оценки структурной сложности воздушной обстановки, а также введения коэффициента доступности воздушного пространства. Автором лично разработан дизайн исследования, организована и проведена экспертная оценка, статистическая обработка полученных результатов, разработка программного прототипа и выполнено численное моделирование. Содержание диссертационной работы и опубликованных по теме исследований результатов являются полученными автором научными решениями, обоснованными теоретическими исследованиями и результатами моделирования, а также личным опытом автора по ОВД.

К числу наиболее существенных научных результатов работы следует отнести разработку интерпретируемой нечёткой модели, основанной на нечётком выводе типа Мамдани, в которой состояние сектора ОВД представлено совокупностью трёх входных параметров: относительного объёма воздушного движения, индекса структурной сложности воздушной обстановки и коэффициента доступности воздушного пространства. Такой состав входных переменных методически оправдан, поскольку позволяет разделить количественную загрузку сектора ОВД, конфликтно-структурную насыщенность потока ВС и фактическое сокращение рабочего объёма воздушного пространства сектора ОВД.

Заслуживает положительной оценки предложенный автором коэффициент динамической коррекции нормативной пропускной способности. Введение указанного коэффициента позволяет сохранить действующий норматив пропускной способности сектора ОВД как базовое значение и одновременно сформировать над ним оперативный корректирующий контур. Такой подход не подменяет и не отменяет существующую методику определения нормативов пропускной способности секторов ОВД, а органично дополняет их инструментом адекватного реагирования на текущую динамику воздушной обстановки, что подтверждено результатами проведенного моделирования. Полученное решение обладает свойствами прозрачности и может быть рекомендовано к практическому внедрению в работу оперативных органов ОВД.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат в достаточной мере раскрывает существо работы, отражает основные положения, выносимые на защиту, содержит все основные материалы и выводы диссертации, соответствует её содержанию и позволяет оценить уровень квалификации соискателя.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» по следующим пунктам:

п. 9 – Аэронавигационное обеспечение полётов, закономерности процессов навигации, управления движением отдельных ВС и их потоков;

п. 10 – Совершенствование методов использования воздушного пространства, средств радиосвязи, навигации и наблюдения для решения задач управления воздушным движением.

Полученные в работе результаты имеют существенное значение для развития отечественной системы ОрВД. Разработанный метод позволяет перейти от жёстких статических ограничений при нормировании пропускной способности к гибкому, адаптивному управлению пропускной способностью, что соответствует мировым трендам (GANP). Внедрение предлагаемой модели в состав СППР повысит ситуационную осведомлённость диспетчерского состава, снизит риски перегрузки секторов ОВД и будет способствовать более безопасному и эффективному использованию воздушного пространства. Работа вносит вклад в развитие интерпретируемых интеллектуальных методов оценки пропускной способности в аэронавигации.

Замечания по диссертационной работе

В ходе обсуждения диссертации выявлены следующие замечания:

1. В тексте диссертации имеются отдельные опечатки и неточности редакционного характера, не влияющие на обоснованность полученных результатов, выводов и основных положений исследования.

2. В диссертации основное внимание уделено динамической корректировке нормативной пропускной способности отдельного сектора обслуживания воздушного движения. Вместе с тем представляет интерес рассмотрение возможностей применения разработанного научно-методического подхода при решении задач динамической секторизации воздушного пространства и перераспределения потоков воздушного движения между смежными секторами ОВД.

3. При разработке модели коэффициента доступности воздушного пространства основное внимание уделено учёту ограничений использования воздушного пространства. Представляется целесообразным в дальнейшем расширить состав учитываемых факторов за счёт включения временных ограничений на использование маршрутов обслуживания воздушного движения, особенностей конфигурации маршрутной сети и иных эксплуатационных ограничений, оказывающих влияние на фактическую пропускную способность сектора.

4. Представленные результаты экспериментальной проверки подтверждают работоспособность разработанной модели. Вместе с тем практический интерес также представляло бы расширение экспериментальных исследований за счёт анализа большего числа секторов ОВД, отличающихся структурой воздушных потоков ВС и условиями эксплуатации.

5. Представляется перспективным дальнейшее развитие предложенной модели в направлении её интеграции с интеллектуальными системами поддержки принятия решений и средствами прогнозирования воздушной обстановки в автоматизированных системах УВД.

Указанные недостатки не являются принципиальными для общей оценки выполненной диссертационной работы и не снижают научной и практической значимости проведенного исследования.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Торосяна Анатолия Анатольевича «Метод динамической корректировки нормативов пропускной способности секторов обслуживания воздушного движения на основе гибридной нечёткой модели» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-практическая задача по созданию интерпретируемого метода динамической корректировки нормативов пропускной способности секторов ОВД, базирующегося на нечёткой логике.

Выполненное исследование отличается внутренней логической завершённостью, высоким научно-методическим уровнем и комплексным подходом к решению поставленных задач. Полученные автором результаты характеризуются научной новизной, являются обоснованными и достоверными, обладают теоретической и практической значимостью и вносят вклад в развитие методов оценки и регулирования пропускной способности секторов ОВД.

Считать представленную диссертационную работу удовлетворяющей критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор,

Торосян Анатолий Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники».

Результаты диссертационной работы и отзыв рассмотрены и одобрены на расширенном заседании отделов радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и электромагнитной совместимости и организации использования воздушного пространства и безопасности полетов Научного центра Аэронавигации Научно-технического комплекса организации воздушного движения ФГУП ГосНИИ ГА (Протокол от 17.08.2026 № 1).

Присутствовало на заседании - 11 человек.

Результаты голосования: «За» - 11; «Против» - 0; «Воздержалось» - 0.

Главный научный сотрудник, Сектора 1 "Перспективных технологий ОрВД, ИВП и БП" отдела организации использования воздушного пространства и безопасности полетов Центра Аэронавигации Научно-технического комплекса организации воздушного движения ФГУП ГосНИИ ГА.

д-р техн. наук

В.Б. Спрысков

«18» августа 2026 г.

СОГЛАСОВАНО:

Научный руководитель

ФГУП ГосНИИ ГА,

д-р техн. наук, проф.

В.С. Шапкин

«20» сентября 2026 г.

Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации (ФГУП ГосНИИ ГА)

Адрес: 125438, Российская Федерация, г. Москва, ул. Михалковская, д. 67, корп. 1

Телефон: +7 (495) 450-26-15; факс +7 (495) 450-62-06; e-mail: gosniiga@gosniiga.ru