

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Попова Андрея Сергеевича** на тему «**Методы, математические модели и комплекс программ для выбора структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома на основе анализа эффективности их использования**», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)»

### **Актуальность темы диссертации**

Работа Попова А.С. посвящена решению задач выбора структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома

На протяжении многих лет в Российской Федерации продолжается модернизация системы организации воздушного движения (ОрВД). По мере внедрения в эксплуатацию новых самолетов все большее внимание уделяется усовершенствованию структуры воздушного пространства: модернизируется структура сети воздушных трасс, вводятся сокращенные нормы эшелонирования, совершенствуются элементы структуры воздушного пространства, в том числе маршруты вылета, прилета и захода на посадку Московского узлового диспетчерского района, вводятся в строй новые взлетно-посадочные полосы, изменяется структура аэродромов. Эти изменения существенно влияют на показатели деятельности различных участников авиационной деятельности, экономику авиакомпаний, нагрузку на диспетчеров УВД. Для принятия наилучших решений необходимо производить оценку показателей, важных для разных участников – авиакомпаний, системы УВД, авиационных властей, операторов аэропортов и др.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«8» 11 2022

В работе А.С. Попова предлагаются методы оценки и анализа эффективности проводимых мероприятий на базе математического моделирования, что позволяет сравнивать варианты предполагаемых изменений структуры воздушного пространства и выбирать наиболее предпочтительные заранее, до их фактического внедрения. Такая оценка должна проводиться как для существующих потоков воздушного движения в текущий момент, так и для прогнозных потоков с учетом прогнозов развития авиатранспортной системы в целом.

Это делает тему диссертации крайне актуальной.

### **Обоснованность и достоверность научных положений**

В работе предложены математические модели элементов и процессов при ОрВД, модели их функционирования, алгоритмы управления движением как в воздухе, так и на поверхности аэродрома. Модели и методы разработаны с учетом проведенного автором анализа опыта применения математического моделирования при решении задач оценки структуры воздушного пространства, а также опыта собственно выполнения оценок показателей эффективности проводимых мероприятий по модернизации структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома. Разработанные модели основаны на методах системного анализа, построения и анализа сложных систем, математического моделирования, численных методах.

Предложена система показателей эффективности использования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома, разработаны математические модели и алгоритмы расчета системы показателей, которые могут учитывать интересы разных участников авиационной деятельности, часто противоречащие друг другу.

Разработанный на основе предложенных имитационных моделей и моделей расчёта показателей комплекс имитационного моделирования внедрен в процессы по организации воздушного пространства ФГУП «Госкорпорация по ОрВД». С использованием комплекса моделирования и

методики проведения исследования проводятся системные исследования по оценке использования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома.

Корректная, технически обоснованная постановка решаемых задач, использование при решении современных подходов и методов, подтверждение работоспособности предложенных методов большим объемом моделирования и проведенными исследованиями в рамках научно-исследовательских работ, выполненными на внедренном в эксплуатацию комплексе, определяют обоснованность и достоверность результатов диссертации.

**Новизна научных положений** и выводов, сформулированных в диссертационной работе заключается в следующем:

- Приведено обоснование актуальности применения математического моделирования для исследования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома, в том числе для предлагаемых, перспективных вариантов.
- Разработаны математические модели элементов и процессов ОрВД, модели их функционирования, алгоритмы управления движением как в воздухе, так и на поверхности аэродрома, позволяющие оценивать показатели эффективности структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома;
- Предложена система показателей эффективности использования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома, разработаны математические модели и алгоритмы их расчета;
- Математические модели элементов и процессов ОрВД, а также методы расчета групп показателей реализованы в рамках комплекса программ имитационного моделирования системы ОрВД;
- Разработана методика оценки эффективности использования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома на основе предложенной системы показателей;

- Предложен метод выбора наилучшего варианта структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома как решения задачи многомерной условной оптимизации нескольких групп показателей.

Эффективность предложенных алгоритмов и решений исследована и подтверждена в процессе всестороннего математического моделирования, а также результатами эксплуатации комплекса имитационного моделирования, введенного в эксплуатацию во ФГУП «Госкорпорация по ОрВД».

### **Содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения и четырех глав.

Во **введении** приведено обоснование актуальности темы диссертации, описание целей и задач работы и ее практической значимости, изложены положения, выносимые на защиту, их научная новизна, описана структура работы.

В **первой главе** приведены результаты анализа применения математического моделирования для оценки эффективности использования структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома, а также постановка задачи поиска оптимальной структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома.

Предложенная система показателей эффективности включает в себя шесть групп показателей, отражающих: эксплуатационную эффективность для пользователей ВП (авиакомпаний), безопасность выполнения полетов, влияние на окружающую среду, эффективность использования структуры ВП и инфраструктуры аэродрома для ОрВД, пропускную способность воздушного пространства и сложность УВД в секторе, пропускную способность аэродрома.

Эти группы показателей зависят от структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродромов, алгоритмов управления и средств поддержки диспетчера при УВД и движением воздушных судов по поверхности

аэродрома, потоков воздушных судов и их летно-технических характеристик (ЛТХ), условий выполнения полетов (метеоусловий и ограничений использования воздушного пространства), технологий работы диспетчера УВД.

Заданы ограничения на значения ряда показателей, которым должен удовлетворять выбранный вариант структуры ВП и инфраструктуры аэродрома

Показатели каждой группы должны быть максимизированы или минимизированы.

Задача формулируется следующим образом: при заданных алгоритмах управления потоками воздушных судов и средствах поддержки диспетчера найти наилучший вариант структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома среди альтернативных вариантов, при котором показатели обращаются в максимум/минимум, с учетом накладываемых ограничений. Дана математическая постановка задачи как задачи многомерной условной оптимизации нескольких групп показателей.

**Вторая глава** посвящена математическим моделям и алгоритмам расчета показателей эффективности и методу выбора рационального варианта структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома.

Каждая из предложенных групп показателей включает в себя от двух до шести показателей. Для каждого из них в работе описана соответствующая математическая модель, приведены зависимости показателей от заданных аргументов, разработаны методы и алгоритмы расчета, реализованные в комплексе программ моделирования системы ОрВД.

Выбор рационального варианта представляет собой задачу многокритериального выбора наилучшего варианта структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома из ограниченного ряда спроектированных вариантов. Для ее решения предлагается метод последовательных уступок, в котором экспертами определяется

приоритетность показателей и групп показателей. Ранжируются как группы, так и сами показатели эффективности.

В **третьей главе** описан программный комплекс имитационного моделирования системы ОрВД, в рамках которого реализованы модели элементов и процессов ОрВД и расчет показателей эффективности. Представлены архитектура комплекса, схема взаимодействия моделей, отдельные программные средства комплекса, база данных. Рассмотрены группы моделей подготовки данных, формирования структуры воздушного пространства и потоков воздушных судов, включая случайные потоки, имитационного и расчетного моделирования, формирования бесконфликтного очереди прибывающих на аэродром и вылетающих с аэродрома воздушных судов, обнаружения и разрешения потенциальных конфликтных ситуаций, расчета показателей разных групп, визуализации процессов моделирования, пользовательские интерфейсы.

Следует отметить большое количество и разнообразие программных моделей, включенных в комплекс моделирования, входных данных и вариантов их получения из разных источников, модулей формирования результирующих показателей эффективности. Источники входной информации позволяют получать реальные фактические данные о структуре воздушного пространства и планах полетов, на основе которых в комплексе программ могут формироваться исследовательские варианты. При большом объеме и сложности комплекс программ представляется хорошо структурированным, что должно обеспечивать рациональное использование вычислительных и исследовательских ресурсов.

В **четвертой главе** приводится разработанная методика проведения исследований по анализу эффективности использования воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома и выбору рационального варианта и пример проведения исследований по оценке эффективности и выбору рационального варианта с применением моделирования на программном комплексе моделирования системы ОрВД.

Исследование эффективности использования воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома включает в себя оценку характеристик верхнего воздушного пространства, терминальной зоны и движения по поверхности аэродрома, а также комплексную оценку показателей исследуемого варианта структуры, например, проектируемой структуры воздушного пространства.

Пример исследования иллюстрирует выбор наилучшего (рационального) варианта из трех предложенных вариантов структуры воздушного пространства Московской зоны ЕС ОрВД. Моделирование выполнения полетов для каждого варианта позволили рассчитать 12 показателей эффективности, на основе которых методом последовательных уступок выбран один вариант.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертационной работе используются устаревшие термины и понятия. Так, например, термин «Система организации и управления воздушным движением» в настоящее время не используется, так как «Организация воздушного движения» включает в себя «обслуживание/управление воздушным движением».
2. Автор использует такие термины как: качество выбора структуры воздушного пространства, эффективность выполнения полетов, эффективность использования структуры воздушного пространства, эффективность использования воздушного пространства и т.д. Текст было бы целесообразно дополнить разделом «Термины и определения» с целью наиболее точного определения решаемой задачи.
3. Упомянутая в диссертационной работе база данных воздушных судов BADA несомненно полезна, однако содержит ряд ограничений и «разрывов» по этапам и режимам полета, что ограничивает ее применимость и может в отдельных случаях приводить к неточностям в расчетах. Кроме того, она не содержит модели беспилотных

воздушных судов, что не позволяет ее применять для этих новых типов пользователей воздушного пространства.

4. Сформулированная автором задача оптимизации (стр. 46, п. 1.3.6) требует достижения экстремальных значений одновременно несколькими противоречащими друг другу критериями, что не всегда приводит к однозначности выбора. В разделе 2.2 задача преобразуется в поиск достижимого на дискретном множестве предпочтительного варианта структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома, что более корректно.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

Представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой научно-квалифицированную работы, в которой сформулирована и решена задача выбора рационального варианта структуры воздушного пространства и инфраструктуры аэродрома с использованием имитационного и аналитического моделирования. Автореферат соответствует и в полном объеме отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, опубликованы в периодических изданиях, в том числе включенных в перечень ВАК и Web of Science, а также докладывались на научно-технических и научно-практических конференциях. Научные положения и результаты, выносимые на защиту, полностью отражены в работе и публикациях и соответствуют научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)». Таким образом, диссертационная работа по своему содержанию и научному уровню соответствует всем требованиям п.п. 9-14

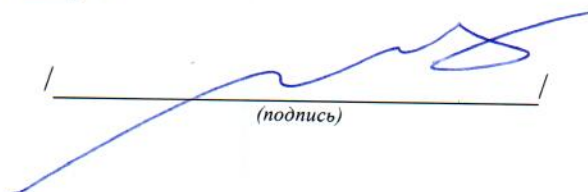


«Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 20 марта 2021 г. №426) Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Попов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)».

### **Официальный оппонент**

Доктор технических наук, профессор  
Заместитель генерального директора  
по научной работе и развитию АО «Азимут»

Соломенцев Виктор Владимирович  
(фамилия, имя, отчество оппонента)

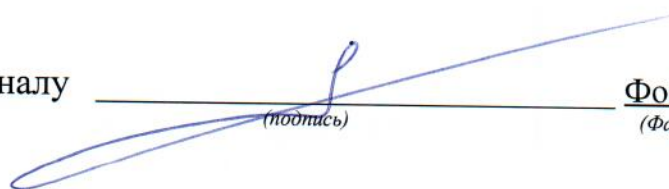
  
(подпись)


Подпись Соломенцева Виктора Владимировича удостоверяю.  
(фамилия, имя, отчество оппонента полностью)



Директор по персоналу  
(должность)

М.П.

  
(подпись) Фоменко Е.А.  
(Фамилия И.О.)

С отзывом  
 одноклассник  
08.11.2022

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АЗИМУТ»

Почтовый адрес: 125167, Москва Нарышкинская аллея, д. 5, стр. 2

Тел. +7 (495) 926-37-69 E-mail: mailbox@azimut.ru Веб-сайт: <https://www.azimut.ru>