

УДК 351.814.33

DOI 10.51955/2312-1327_2025_4_44

РАЗРАБОТКА БЕСКОНФЛИКТНЫХ МАРШРУТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ ПУТЕМ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ТРЕНАЖЕРНОГО ЦЕНТРА С УЧЕТОМ КОММЕРЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВИАКОМПАНИЙ И УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ

*Михаил Сергеевич Дармограев^{1,2},
orcid.org/0009-0002-2746-9602,*

¹аспирант

*¹Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия*

*²Филиал Государственной корпорации по организации воздушного движения
«Московский центр автоматизированного управления воздушным движением»,
Большая Внуковская ул., 2А, стр. 1
Москва, 119027, Россия
mdarmograev2014@yandex.ru*

*Владимир Николаевич Нечаев,
orcid.org/0009-0005-9610-9397,*

*кандидат исторических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
v.nechaev@mstuca.ru*

*Юрий Станиславович Карчевский,
orcid.org/0009-0003-6457-9816,*

*кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
yu.karchevskiy@mstuca.ru*

Аннотация. В представленной статье авторами анализируется маршрутная сеть воздушного движения (ВД) секторов Московской зоны (МЗ) с учетом введенных районов воздушного пространства (ВП), где запрещены полеты воздушных судов (ВС) гражданской и экспериментальной авиации при отсутствии специального разрешения от Министерства обороны (МО). Данный факт привел к увеличению интенсивности ВД на секторе Пенза 123 (П123) районного диспетчерского центра (РДЦ), что повышает нагрузку на диспетчеров радиолокационного управления (РЛУ) и процедурного контроля (ПК). С целью сохранения показателей безопасности полетов на приемлемом уровне выполнен анализ загруженности ВП секторов Пенза 1 (П1), Пенза 2 (П2) и Пенза 3 (П3) по отдельности, разработана модель воздушной обстановки МЗ, рассчитаны и протестированы изменения коммерческой эффективности эксплуатации ВС с привлечением действующих специалистов по обслуживанию воздушного движения (ОВД). Для получения более достоверных результатов

все авиадиспетчеры были разделены на группы по уровню их подготовки. Критериями отбора кандидатов послужили такие параметры, как: занимаемая должность, стаж работы, класс работника, наличие или отсутствие авиационных инцидентов и происшествий в трудовой биографии. Кроме того, авторами были сделаны выводы об эффективности предложенных мер. Теоретическая значимость исследования состоит в разработке методики построения бесконфликтных маршрутов, учитывающей критерии безопасности полетов (БП), экономической эффективности и направленной на снижение уровня нагрузки на авиадиспетчеров, что вносит вклад в развитие теоретических основ оптимизации БП.

Ключевые слова: безопасность полетов, бесконфликтные маршруты, районный диспетчерский центр, обслуживание воздушного движения.

DEVELOPMENT OF CONFLICT-FREE AIR TRAFFIC ROUTES THROUGH MODELING AND TESTING IN A SIMULATOR CENTER, TAKING INTO ACCOUNT AIRLINES' COMMERCIAL INDICATORS AND AIR TRAFFIC CONTROLLERS' SKILL LEVELS

*Mikhail S. Darmograev^{1,2},
orcid.org/0009-0002-2746-9602,*

¹Postgraduate Student

*¹Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia*

*²Branch of the State Corporation for Air Traffic Management
Moscow Center for Automated Air Traffic Control,
2A Bolshaya Vnukovskaya str., building 1
Moscow, 119027, Russia
mdarmograev2014@yandex.ru*

*Vladimir N. Nechaev,
orcid.org/0009-0005-9610-9397,*

*Candidate of Historical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
v.nechaev@mstuca.ru*

*Yuri S. Karchevsky,
orcid.org/0009-0003-6457-9816,*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
yu.karchevskiy@mstuca.ru*

Abstract. In this article, the authors analyze the route network of air traffic sectors in the Moscow Zone, taking into account the introduced areas, where flights of civil and experimental aircraft are prohibited without a special permit from the Ministry of Defense. This fact has led to an increased traffic intensity in the Penza 123 (P123) sector of the district control center, which increases the burden on radar control and procedural control controllers. In order to maintain flight safety indicators at an acceptable level, an analysis of the workload of the Penza 1 (P1), Penza 2 (P2) and Penza 3 (P3) sectors was performed separately, a model of the air situation of the Ministry of Health was developed, changes in the commercial efficiency of aircraft operation were calculated and tested with the involvement of existing air traffic services specialists. To obtain more reliable results, all air traffic controllers were divided into groups according to their level of training. The criteria for

selecting candidates were such parameters as position, work experience, employee class, presence or absence of aviation incidents and accidents in the work history. In addition, the authors drew conclusions about the effectiveness of the proposed measures. The theoretical significance of the research lies in the development of a methodology for constructing conflict-free routes that takes into account the criteria of flight safety, economic efficiency and is aimed at reducing the burden on air traffic controllers, contributing to the development of the theoretical foundations of the airspace optimization.

Keywords: flight safety, conflict-free routes, regional control center, air traffic services.

Введение

Согласно отчету Федерального агентства воздушного транспорта (ФАВТ) в воздушном пространстве Российской Федерации (ВП РФ) в 2023 и 2024 годах количество перевезенных пассажиров, грузов, багажа и почты выросло на 17 % в годовом исчислении. При этом, данные Межгосударственного авиационного комитета и ФАВТ за тот же период сигнализируют о тревожном росте инцидентов и происшествий, связанных с эксплуатацией ВС и, к сожалению, вызванных ошибками персонала ОВД в зоне ответственности РДЦ МЗ – увеличение на 7,5 % год к году. Существуют направления, где наблюдается ВД, близкое к предельной допустимой пропускной способности секторов, создавая неравномерную нагрузку на авиадиспетчеров в течение рабочей смены года [Дармограев и др., 2021].

Интенсивность воздушного трафика в секторах РДЦ МЗ достигает пика в утренние и вечерние часы и ослабевает в ночные. Все эти факторы, в совокупности, могут привести к эмоциональной перегрузке, быстрой утомляемости авиадиспетчеров, развитию стрессовой обстановки, ведущей к потере концентрации и, как следствие, развитию потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС).

Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии методик, позволяющих комплексно оценивать влияние изменений структуры ВП на БП, коммерческие показатели авиакомпаний и уровень нагрузки на персонал ОВД. Целью данного исследования является разработка и апробация такой комплексной методики. Ее теоретическая значимость заключается в разработке подходов из различных областей знания (экономика авиaperевозок, моделирование ВД и т.д.) и создании модели для оценки эффективности реорганизации ВП.

Чтобы выявить слабые звенья в организации структуры МЗ, обратимся к анализу авиационного инцидента, произошедшего 26 мая 2024 г.

Материалы и методы

Методы и методология исследования, использованные авторами в статье:

1. Статистический метод (сбор, обобщение и обработка данных о зависимости количества потребляемого топлива основными типами ВС, осуществляющими полеты в пределах ВП РФ, и показателей их средней путевой скорости от эшелона полета (ЭП).

2. Аналитический метод (анализ и оценка документов, регламентирующих действия персонала ОВД, структуры ВП МЗ, отчетов об

авиационных инцидентах и происшествиях для выявления проблем и теоретических основ как базовых принципов решения проблем).

3. Логический метод (основан на логических правилах и принципах рассуждать и делать выводы на основе полученных данных).

Дискуссия

Для определения актуальности осуществляемого исследования проведен анализ авиационного инцидента, произошедшего в секторах П2, ПЗ РДЦ Московского центра автоматизированного управления воздушным движением (МЦ АУВД).

Обстоятельства инцидента 26.05.2024:

Экипаж ВС Airbus A320, рейс АФЛ 1365, следовавший по маршруту «ГЕКРА», далее «GOLRI», далее «IDPIS», далее «OLOPI», и выполнявший рейс Ставрополь – Москва на эшелоне полета (ЭП) 360, при входе в сектор П2 получил указание рассчитывать схему прибытия «OLOPI 3 F» и после точки «OLOPI» следовать на точку «ЕЕ114», после чего экипаж подтвердил указание авиадиспетчера (рис. 1).

Экипаж ВС Boeing 737 выполнял транзитный рейс БРУ 8901 по маршруту Минск – Анталия, следуя по маршруту «LODKU», далее «OLOPI», далее «DOSAG», далее «ULKID», далее «ABAGI», на ЭП 320 и находился под управлением диспетчера сектора ПЗ (рис. 1).

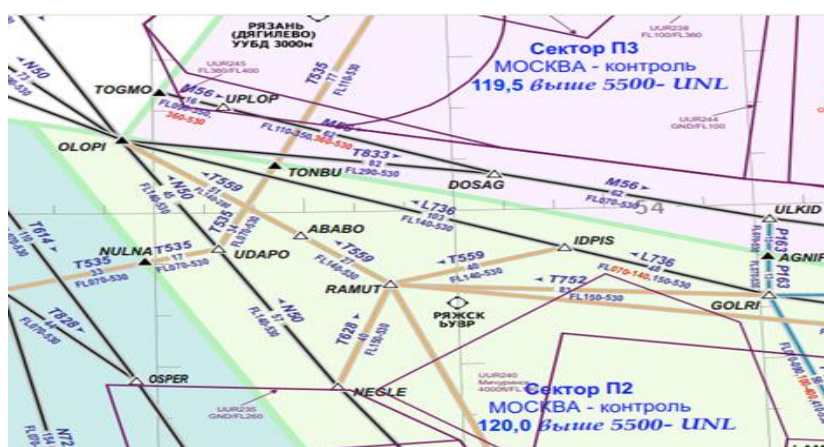


Рисунок 1 – Схема воздушного пространства секторов П2 и ПЗ

В 14.38.29 экипаж рейса АФЛ 1365 доложил диспетчеру сектора П12 о расчетном начале снижения для занятия ЭП 280 на точку входа в стандартный маршрут прибытия. Диспетчер выдал разрешение на снижение. Вертикальная скорость Airbus A320 в переменном профиле составляла 2000 футов в минуту, что позволяло экипажу ВС занять расчетный эшелон через 4 минуты после начала снижения.

В 14.39.24 сработала система предупреждения об опасных сближениях (СПОС) в режиме предупреждения о среднесрочной конфликтной ситуации (СКС).

В 14.39.31 сработала СПОС в режиме ПКС. Диспетчер сектора ПЗ предпринял попытку по созданию установленного горизонтального интервала

эшелонирования путем выдачи команды: «Белавиа 8901 немедленно влево курс 070 для интервала». Экипаж подтвердил указание и приступил к его выполнению. При этом действия экипажа ВС Boeing 737 носили неторопливый характер, что, явно, не соответствовало скорости развития ситуации.

В 14.40.21 в 32 км юго-восточнее точки «OLOPI» сработала СПОС в режиме предупреждения о конфликтной ситуации (КС). Минимальный горизонтальный интервал составлял 9,8 км, разница по высоте составляла 300 футов, угрозы столкновения ВС не было.

В 14.41.05 прекратилась работа СПОС в режиме КС.

Выявленные недостатки:

1. Диспетчер сектора П2 провел недостаточный анализ воздушной обстановки и дал команду экипажу ВС Airbus A320 рейса АФЛ 1365 следовать прямо на точку «OLOPI», что способствовало сокращению горизонтального интервала между линией фактического пути Airbus A320 и маршрутом ОВД «OLOPI», далее «DOSAG».

2. Участки маршрутов ОВД «IDPIS», далее «OLOPI» и «OLOPI», далее «DOSAG» не способны обеспечить бесконфликтное движение транзитных ВС и ЛА, прибывающих в московский аэроузел.

3. Диспетчеры сектора П2 и П3 не довели информацию о взаимном местоположении до экипажей Airbus A320 рейса АФЛ 1365 и Boeing 737 рейса БРУ 8901 при развитии КС, что не позволило пилотам в полной мере оценить опасность развивающейся ситуации.

Для более детального изучения проблемы возникновения КС на рассматриваемых маршрутах ОВД и учета всех факторов, влияющих на безопасность воздушного движения, необходимо проанализировать структуру воздушного пространства секторов П2 и П3.

Анализ структуры ВП секторов П2, П3 и «Транзит» РДЦ МЦ АУВД, формирование предложений по ее совершенствованию

В настоящее время в России и за рубежом проведено множество исследований по реорганизации воздушного пространства с целью снижения риска возникновения ПКС и применения передовых алгоритмических моделей [Воробьев и др., 2015; Гаракоев и др., 2023; Горбенко, 2008; Левшонков и др., 2024; Максимова, 2025; Неретин и др., 2022; Aghayev et al., 2024]. Кроме того, проводятся исследования по оптимизации маршрутов ОВД и регламентирующих документов [Костин и др., 2023; Нгуен и др., 2024; Седиков и др., 2023; Спрысков и др., 2015; Хоанг Куан и др., 2024].

Рассмотрим сектор П2 МЗ ЕС организации ВД. Этот элемент структуры РДЦ МЦ АУВД работает с прилетным трафиком, обслуживая потоки ВС, направляющиеся с южного и юго-восточного направлений. Сектор П3, напротив, работает с вылетающим трафиком, обслуживая ВС, отправляющиеся из аэродромов московского аэроузлов диспетчерского центра (АуЗДЦ) и следующие в южном и юго-восточном направлениях. Воздушное пространство рассматриваемых секторов объединяет навигационная точка «OLOPI», расположенная на месте приводной радиостанции «Октябрьский». Эта точка

находится не только на границе между двумя упомянутыми секторами, но и на пересечении с сектором «Транзит» (Т1) и секторами АузДЦ. Данный факт подчеркивает необходимость тщательного анализа факторов, влияющих на безопасность полетов.

Навигационная точка «OLOPI» является границей между секторами П1, П2, Т1 РДЦ и сектором А5Д5 домодедовского направления АузДЦ. Воздушные суда, следующие с южного и юго-восточного направлений в сторону северного, северо-западного и западного направлений на ЭП выше 280, переходят под контроль сектора Т1, а ВС на ЭП 280 и ниже – под управление сектора А5Д5 АузДЦ. Кроме того, через навигационную точку «OLOPI» проходят транзитные рейсы, следующие с северного, северо-западного и западного направлений. Это может привести к возникновению ПКС между ВС, следующими по маршрутам ОВД «LODKU» – «OLOPI» – «DOSAG» и «IDPIS» – «OLOPI», или между ВС, следующими по маршрутам ОВД «UPERI» – «OLOPI» – «DOSAG» и «IDPIS» – «OLOPI» во время снижения с крейсерского ЭП на точку входа в стандартный маршрут прибытия (рис. 2, 3)¹.

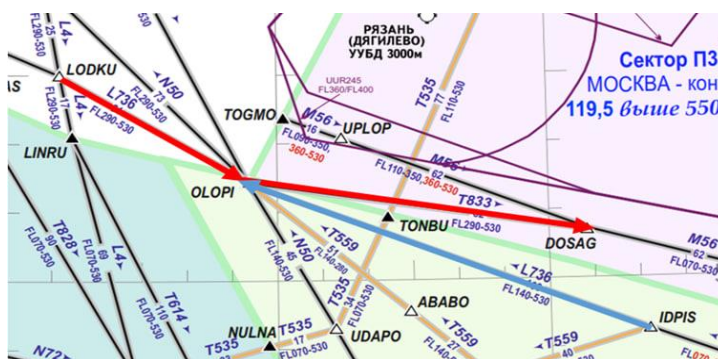


Рисунок 2 – Маршрут полета «LODKU», далее «OLOPI», далее «DOSAG» и «IDPIS», далее «OLOPI»



Рисунок 3 – Маршрут полета «UPERI», далее «OLOPI», далее «DOSAG» и «IDPIS», далее «OLOPI»

Наибольшую опасность представляют полеты, когда разница между магнитными курсами двух ВС составляет от 90° до 270°, так как скорость сближения ВС будет равна сумме их путевых скоростей [Aghayev et al., 2024].

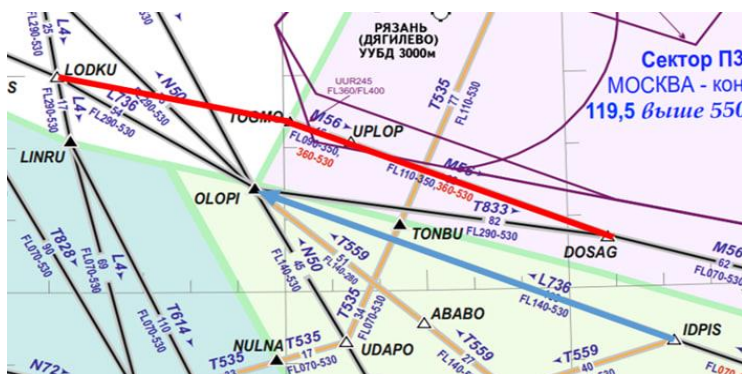
¹ Для большей информативности направление движения транзитного трафика обозначено стрелками красного цвета, а ВС, следующих в АузДЦ, стрелкой синего цвета.

Кроме того, следует учитывать, что в 17 км к северо-востоку от ПРС «Октябрьский» расположена точка выхода из стандартного маршрута вылета «ТОГМО». При нарушении работоспособности спутниковой навигационной системы (СНС) вследствие воздействия средств радиоэлектронного подавления, ВС может продолжить следовать с магнитным курсом 190° после пересечения навигационной точки «ТОГМО» (так как ВС следует с магнитным курсом 190° на участке маршрута до точки «ТОГМО»), что способно привести к развитию ПКС, нарушению установленных интервалов горизонтального и вертикального эшелонирования, опасному сближению ВС.

Для недопущения развития перечисленных опасных ситуаций авторами разработаны два основных варианта решения:

1. Предложение по изменению маршрутов полетов ВС, выполняющих транзитные рейсы через ВП МЗ РДЦ.
2. Смещение рубежа занятия ЭП 280 для входа в стандартный маршрут прибытия.

Рассмотрим первое предложение. Маршруты ОВД «LODKU» – «OLOPI» – «DOSAG» и «UPERI» – «OLOPI» – «DOSAG» целесообразно заменить более безопасными с точки зрения соблюдения установленных интервалов горизонтального и вертикального эшелонирования. Новые пути следования ВС будут включать точки «LODKU» – «ТОГМО» – «DOSAG» (исключая «OLOPI») и «UPERI» – «ТОГМО» – «DOSAG» (исключая «OLOPI») (рис. 4, 5)². Предложенное изменение позволит исключить возможность нарушения интервалов между ВС, следующими транзитом с северного направления, и ВС, снижающимися на точку «OLOPI» на ЭП 280 при наличии устойчивого сигнала СНС, и не изменит показателей затраченного топлива³, но может потребовать постоянного контроля за наличием ограничения на использование воздушного пространства (ИБП) в зоне № 245⁴, так как вертикальный профиль данного ограничения в месте пересечения маршрута ОВД «ТОГМО» – «DOSAG» предполагает запрет на использование ЭП 360-400. Диспетчер РЛУ и ПК будет вынужден заранее снижать ВС, следующие на данных эшелонах, для недопущения нарушения правил использования воздушного пространства ИБП.



² Для большей информативности предлагаемые маршруты ОВД обозначены линиями красного цвета, а ВС, следующих в АуЗДЦ, стрелкой синего цвета.

³ Так как протяженность предложенного маршрута полета и действующего равны.

⁴ Номер определен списком запрещенных зон и зон ограничений сборника аэронавигационной информации.

Рисунок 4 – Предлагаемый маршрут полета «LODKU», далее «DOSAG», исключая «OLOPI»



Рисунок 5 – Предлагаемый маршрут полета «UPERI», далее «TOGMO», далее «DOSAG», исключая «OLOPI»

Однако, предложенное решение не позволяет полностью устранить возможность развития ПКС между ВС, следующим транзитом с северо-западного и западного направлений, и ВС, снижающимися на точку «OLOPI» на ЭП 280. Представленный метод увеличивает горизонтальный интервал между местом входа в стандартный маршрут прибытия и маршрутом ОВД «LODKU» – «TOGMO» – «DOSAG» до 12,5 км, но не обеспечивает полностью бесконфликтного ВД, а лишь позволяет увеличить горизонтальный интервал между транзитными ВС и ВС, прибывающими в московский аэроузел. Кроме того, данное изменение может внести дополнительные сложности в работу авиадиспетчеров секторов Т1 РДЦ и А5Д5 АуздЦ по обеспечению безопасности и экономичности полетов, так как поток ВС, вылетающих из аэродромов АуздЦ, будет следовать по одному маршруту с транзитными ВС после точки «TOGMO».

Рассмотрим второе предложение. Необходимо обеспечить занятие ЭП 280 на расстоянии от точки «OLOPI», которое позволит создать установленный горизонтальный интервал между ВС, находящимися в переменном профиле во время снижения, и маршрутом «OLOPI» – «DOSAG». Для этого обозначим окружностью радиусом 10 км⁵ защитный объем вокруг ВС, находящегося на участке маршрута ОВД «IDPIS» – «OLOPI», и определим место, где минимальный интервал между двумя участками будет составлять 10 км, что соответствует установленному интервалу горизонтального эшелонирования (рис. 6). Промаркируем место соприкосновения окружности с маршрутом, назвав его точкой «OL111», и измерим расстояние от «OLOPI» до «OL111» – 45 км. Отложим подобную точку на участке маршрута «NEGLE» – «OLOPI» и обозначим ее «OL112» (рис. 7). Соединим прямой точки «OL111» и «OL112», опустим на основание равнобедренного треугольника медиану из точки «OLOPI» и обозначим полученную точку «OL113» (рис. 8). Она и будет определять расстояние, на котором ВС необходимо обеспечить занятие ЭП 280 для входа в стандартный маршрут прибытия с целью осуществления бесконфликтного

⁵ Согласно постановлению Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 (ред. от 29.03.2024) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации», Минимальные интервалы горизонтального эшелонирования при использовании системы наблюдения ОВД устанавливаются при районном диспетчерском обслуживании и диспетчерском обслуживании подхода – не менее 10 км.

движения. Снижения ВС, следующих по участкам маршрутов ОВД «IDPIS», далее «OLOPI» и «NEGLE», далее «OLOPI», необходимо реализовывать с ограничением по занятию ЭП 280 на траверз точки «OL113».



Рисунок 6 – Определение места установки точки «OL111»

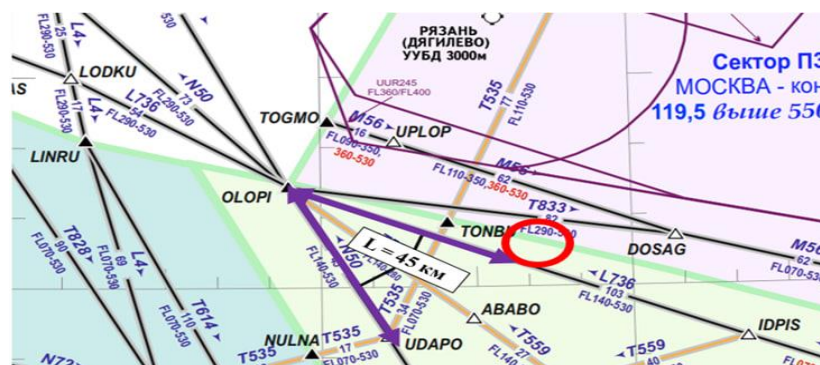


Рисунок 7 – Определение места установки точки «OL112»

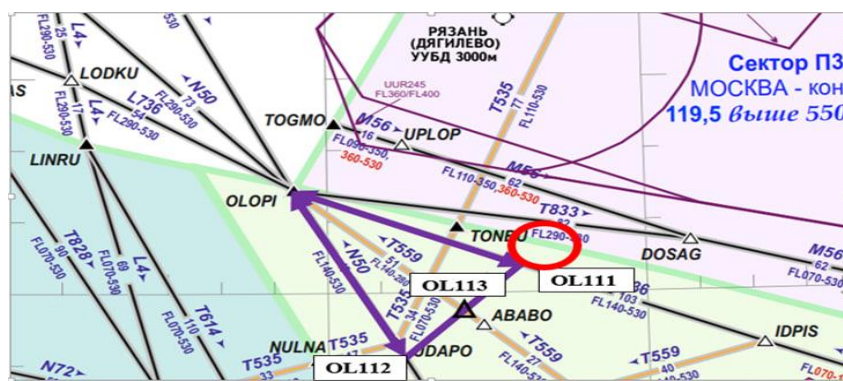


Рисунок 8 – Определение места установки точки «OL113»

Предложенное решение не оказывает существенное влияние на работу секторов, являющихся смежными для П2 и П3, и позволит обеспечить распределение потоков ВД, исключая наличие конфликтных точек между ВС, но при этом оно снижает уровень экономической эффективности производства полетов для авиакомпаний. Для более детального анализа возникшей проблемы проведем расчеты разницы количества топлива, которое необходимо затратить при осуществлении полета по маршрутам ОВД действующей структуры ВП и предложенной [Кретов и др., 2023].

Расчет количества топлива, затрачиваемого при полетах основных типов ВС, осуществляющих полеты в ВП РФ

Для удобства проведения исследования разделим основные типы ВС⁶ на несколько групп, эксплуатируемых отечественными и зарубежными авиакомпаниями для осуществления полетов над территорией РФ. Кроме того, стоит отметить, что для упрощения расчетов будем пренебрегать воздействием внешних воздействующих факторов, таких как: ветер, турбулентность и температура окружающего воздуха. Скорость движения и полетную массу будем принимать за средние значения, характерные для рассматриваемого типа ВС [Кретов и др., 2023].

Обратимся к таблице зависимости среднего значения расхода топлива ВС и путевой скорости их полета от эшелона следования. Данные, приведенные в таблице 1, определены путем статистического анализа отчетной документации о производстве полетов ряда эксплуатантов представленных типов ВС и вычисления по ним средних значений необходимых параметров движения, округленных до целых чисел [Vardanyan et al., 2024].

Таблица 1 – Зависимость среднего значения расхода топлива ВС и путевой скорости их полета от эшелона следования

Типы ВС	Средний расход топлива в кг/час при полете на ЭП 180-280, Q_1	Средний расход топлива в кг/час при полете на ЭП 290-390, Q_2	Средний расход топлива в кг/час при полете на ЭП 400-450, Q_3	Средняя путевая скорость полета в км/ч на ЭП 180-280, v_1	Средняя путевая скорость полета в км/ч на ЭП 290-390, v_2	Средняя путевая скорость полета в км/ч на ЭП 400-450, v_3
Embraer E-190, Sukhoi SSJ-100	2200-2550	1500-1850	2000-2350	750	820	815
Boeing 737, Airbus A320	2800-3500	2500-3000	2800-3250	760	850	830
Boeing 757	4250-4700	3300-3800	4100-4500	790	880	870
Boeing 767, Airbus A330	4300-4800	3450-3950	4150-4600	780	870	870
Boeing 787, Airbus A350	5100-5850	4800-5400	4850-5500	800	920	940
Boeing 777	7000-8000	5000-6000	6000-7000	800	900	890
Boeing 747, Airbus A380	13000-15000	11000-12000	11500-13500	800	940	960

Как уже было отмечено ранее, траверз точки «OL113», проецируемый на участки маршрутов ОБД «NEGLE», далее «OLOPI» и «IDPIS», далее «OLOPI», сдвигается на 45 км ближе к «NEGLE» и «IDPIS». Следовательно, при прочих равных условиях, ВС необходимо пролететь на ЭП 280 на 45 км больше, чем в случае использования действующей структуры, которая предполагает занятие

⁶ Модификациями ВС в данном исследовании можно пренебречь, так как это не скажется существенно на анализе.

заданного эшелона на точку «OLOPI». Проведем расчет изменения количества потребляемого топлива и продолжительности полета вследствие внесения предлагаемых корректив по формулам (1, 2, 3).

$$\Delta Q = \frac{45}{v_1} \times Q_1 - \frac{45}{v_2} \times Q_{2r} \quad (1)$$

$$\Delta Q_{\%} = \frac{\Delta Q}{Q_1} \times 100\%_r \quad (2)$$

$$\Delta t = \left(\frac{45}{v_1} - \frac{45}{v_2} \right) \times 3600_r \quad (3)$$

где:

ΔQ – изменения количества потребляемого топлива вследствие снижения на заданный ЭП в кг, значение округлено до целого;

$\Delta Q_{\%}$ – изменение количества потребляемого топлива вследствие снижения на заданный ЭП, выраженное в процентах;

v_1 – средняя путевая скорость полета в км/ч на ЭП 180-280, значения взяты из табл. 1;

v_2 – средняя путевая скорость полета в км/ч на ЭП 290-390, значения взяты из табл. 1;

Q_1 – средний расход топлива в кг/час при полете на ЭП 180-280, значения взяты из табл. 1, так как показатели представлены диапазоном, для расчета будем использовать их среднее арифметическое Q_{1cp} (табл. 2);

Q_2 – средний расход топлива в кг/час при полете на ЭП 290-390, значения взяты из табл. 1, так как показатели представлены диапазоном, для расчета будем использовать их среднее арифметическое Q_{2cp} (табл. 2);

Δt – разница в продолжительности полета в секундах, значение округлено до целого.

Таблица 2 – Показатели среднего арифметического от значений диапазона расхода топлива ВС кг/час

Типы ВС	Embraer E-190, Sukhoi SSSJ-100	Boeing 737, Airbus A320	Boeing 757	Boeing 767, Airbus A330	Boeing 767, Airbus A330	Boeing 777	Boeing 747, Airbus A380
Q_{1cp} (кг)	2375	3150	4475	4550	5475	7500	14000
Q_{2cp} (кг)	1675	2750	3550	3700	5100	5500	11500

Для удобства восприятия информации представим полученные значения ΔQ , $\Delta Q_{\%}$ и Δt в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Изменение количества потребляемого топлива и продолжительности полета вследствие снижения на заданный ЭП

Типы ВС	Embraer E-190, Sukhoi SSJ-100	Boeing 737, Airbus A320	Boeing 757	Boeing 767, Airbus A330	Boeing 767, Airbus A330	Boeing 777	Boeing 747, Airbus A380
ΔQ (кг)	51	41	73	71	59	147	237
$\Delta Q_{\%}$	2,14	1,3	1,63	1,6	1,1	1,96	1,69
Δt (с)	19	23	21	22	27	23	30

Согласно таблице 3 повышение расхода топлива составляет в среднем 1,63 %, а увеличение продолжительности полета не превышает 30 с. Эти показатели, очевидно, не являются существенными недостатками, если учесть тот факт, что предложенное решение обеспечивает бесконфликтное передвижение ВС на секторах П2, П3, Т1 РДЦ и А5Д5 АуздЦ.

Результаты

С целью определения оптимального из предложенных вариантов изменения ВП МЗ проведено тестирование обоих вариантов, проходящее в три этапа. Первый этап – моделирование – включал в себя создание рабочей модели ВП секторов П2 и П3 и внесение в нее всех рекомендуемых изменений [Гаракоев и др., 2023]. Во время второго этапа – анкетирования – были проведены теоретические занятия с целью доведения всех особенностей рекомендуемых преобразований до персонала ОВД, письменный опрос с учетом мнения каждого работника о предлагаемых изменениях и выделение одного из вариантов [Субботин, 2025]. Третий этап – тестирование – включал в себя воспроизведение реального ВД МЗ на базе тренажерного центра МЦ АУВД с привлечением к испытаниям действующих авиадиспетчеров первого, второго и третьего классов, имеющих допуск к работе как на секторах П2, П3, так и на смежных с ними, старших диспетчеров направлений и смен, руководителей полетов [Субботин, 2025]. Результаты проведения второго и третьего этапов комплексных испытаний представлены в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Итоги анкетирования по выбору варианта реорганизации воздушного пространства секторов П2 и ПЗ

Варианты реорганизации ВП	Диспетчеры третьего класса	Диспетчеры второго класса	Диспетчеры первого класса	Старшие диспетчеры направлений и смен	Руководители полетов
Вариант 1	27	11	5	1	0
Вариант 2	28	31	24	14	4
Оставить существующий вариант	0	0	0	0	0

Таблица 5 – Тестирование предложенных способов обеспечения установленных интервалов горизонтального эшелонирования в условиях тренажерного центра МЦ АУВД с привлечением персонала ОВД

Класс диспетчеров	Первый из предложенных способов			Второй из предложенных способов		
	Кол-во СКС	Кол-во ПКС	Кол-во КС	Кол-во СКС	Кол-во ПКС	Кол-во КС
Диспетчеры третьего класса (стаж работы 1-2 года)	7	4	2	1	0	0
Диспетчеры третьего класса (стаж работы 2-3 года)	5	2	1	0	0	0
Диспетчеры второго класса (стаж работы 4-5 лет)	3	2	1	0	0	0
Диспетчеры второго класса (стаж работы 6-7 лет)	1	1	0	0	0	0
Диспетчеры первого класса (стаж работы до 10 лет)	1	1	0	0	0	0
Диспетчеры первого класса (стаж работы более 10 лет)	0	0	0	0	0	0
Старшие диспетчеры направлений и смен	0	0	0	0	0	0
Руководители полетов	0	0	0	0	0	0

Заключение

Таким образом, оба предложенных варианта оценены действующими диспетчерами при помощи тренажерного центра МЦ АУВД в условиях, моделирующих реальную воздушную обстановку МЗ единой системы организации ВД.

Оценка показала, что каждый из предложенных вариантов способен эффективно решать задачу по предотвращению потенциальных нарушений интервалов между воздушными судами.

Первый способ, направленный на создание требуемого горизонтального эшелонирования между транзитными и прибывающими в московский аэроузел ВС, обеспечивает выдерживание заданного интервала на участке маршрута от точки входа в стандартный маршрут прилета до ключевых точек «UPERI», «TOGMO», далее «DOSAG», сохраняя при этом топливную экономичность на прежнем уровне. Однако, как выявило тестирование, существует вероятность возникновения потери установленного интервала между транзитными и прибывающими рейсами на данном отрезке маршрута, а также данное решение приведет к повышению нагрузки на авиадиспетчеров секторов Т1 РДЦ и А5Д5 АуздЦ, что подтвердили письменный опрос действующих авиадиспетчеров во время анкетирования и комплексные испытания на базе тренажерного центра МЦ АУВД.

Второй способ, напротив, обеспечивает полное разделение прилетных и транзитных потоков на безопасное расстояние, снижая вероятность критических ситуаций до приемлемого уровня, и не оказывает существенное влияние на работу секторов, являющихся смежными для П2 и П3, что было убедительно подтверждено комплексными испытаниями, проведенными действующими авиадиспетчерами на базе тренажерного центра МЦ АУВД. Несмотря на незначительное увеличение расхода топлива (в среднем на 1,63%) и увеличение продолжительности полета (не более 30 с), второй метод представляется наиболее оптимальным с точки зрения обеспечения требуемых интервалов горизонтального эшелонирования.

Экспериментально доказана эффективность применения тренажерного центра с привлечением действующего персонала ОВД в качестве неотъемлемого этапа проверки теоретических моделей, что вносит вклад в методологию исследований в области организации ВД.

Библиографический список

- Воробьев В. В.* Алгоритм предтактического планирования использования воздушного пространства / В. В. Воробьев, А. С. Харламов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 218(8). С. 135-141. EDN UHPYQH.
- Гаракоев А. М.* Формирование программных траекторий движения летательного аппарата при аэрогеофизической съемке / А. М. Гаракоев, А. И. Гладышев // Проблемы управления. 2023. № 4. С. 38-47. DOI 10.25728/ru.2023.4.4. EDN FITCAK
- Горбенко В. М.* Методика автоматизированного проектирования ОрВП в регионе ОВД. Госкорпорация по ОрВД. М., 2008. С. 9.
- Дармограев М. С.* Внедрение прогностической системы предупреждения о возможных опасных сближениях воздушных судов в систему организации воздушного движения /

- М. С. Дармограев, Р. А. Чернобровкин, И. А. Чехов // Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов: Материалы научно-практической конференции преподавателей, слушателей и студентов (1 декабря 2021 г.), Москва, 01 декабря 2021 года. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. С. 52-53. EDN ZHMRDR.
- Костин А. С. Исследование моделей и методов маршрутизации и практического выполнения автономного движения беспилотными транспортными системами для доставки грузов / А. С. Костин, Н. Н. Майоров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15, № 3. С. 524-536. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-524-536. EDN SBJQBU.
- Кретов А. С. Концептуальная оценка топливной эффективности пассажирских самолетов с переходом на композитные крылья / А. С. Кретов, Д. В. Тиняков, П. А. Шатаев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. Т. 26, № 2. С. 72-90. DOI 10.26467/2079-0619-2023-26-2-72-90. EDN UOXKWD.
- Левшонков Н. В. Алгоритм комплексирования изображений при групповом применении беспилотных воздушных судов / Н. В. Левшонков, И. М. Нафиков, Я. В. Ларюхина // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2024. Т. 27, № 2. С. 69-79. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-2-69-79. EDN QVGLBB.
- Максимова С. Е. Рискоориентированное геоинформационное моделирование воздушного пространства для построения оптимальных маршрутов перемещения беспилотных воздушных судов гражданской авиации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2025. Т. 28, № 1. С. 39-52. DOI 10.26467/2079-0619-2025-28-1-39-52. EDN QLSKWF.
- Нгуен Т. Л. Ф. Разработка методики идентификации и разрешения конфликтных ситуаций при оперативном планировании четырехмерной траектории полета / Т. Л. Ф. Нгуен, Е. С. Неретин, Н. М. Нгуен / Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 2. С. 77-95. DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_77. EDN SCSVDZ.
- Неретин Е. С. Использование подхода, основанного на данных, в четырехмерном прогнозировании траектории: сравнение моделей, основанных на обучении / Е. С. Неретин, Т. Л. Ф. Нгуен, М. Нгуен // Материалы 10-й Международной конференции по последним достижениям в ГА. 2022. С. 125–133. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_11.
- Седиков Т. О. Проблемы развития CNS/ATM / Т. О. Седиков, Д. М. Комарова, В. Н. Нечаев // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 469-470. EDN ZDMHOA.
- Спрысков В. Б. О необходимости гармонизации Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации с международными правилами процедурного эшелонирования ВС / В. Б. Спрысков, А. А. Тараканов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. № 7(318). С. 81-85. EDN UAXHFJ.
- Субботин Р. А. К вопросу об упражнении на диспетчерском тренажере при подготовке диспетчеров управления воздушным движением в образовательных организациях гражданской авиации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2025. Т. 28, № 1. С. 67-77. DOI 10.26467/2079-0619-2025-28-1-67-77. EDN BMAUGJ.
- Хоанг Куан Н. Н. Предложения по проектированию организации воздушного пространства секторов ОВД районного диспетчерского центра Хошимина с целью повышения его пропускной способности / Н. Н. Хоанг Куан, В. Н. Нечаев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2024. Т. 27, № 3. С. 50-66. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66. EDN AXEFBG.
- Aghayev N. B. Modelling of non-scheduled air transportation time series based on ARIMA / N. B. Aghayev, D. Sh. Nazarli // Civil Aviation High Technologies. 2024. Vol. 27, № 6. P. 8-20. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-6-8-20. EDN ITOVOW.

Vardanyan G. B. Experimental studies of the impact of fluid sloshing in the tank on the dynamic characteristics of the “wing model - fuel tank” system / G. B. Vardanyan, A. S. Kochetov, Y. V. Petrov // *Civil Aviation High Technologies*. 2024. Vol. 27, № 2. P. 60-68. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-2-60-68. EDN PGNGUS.

References

- Agaev N. B., Nazarli D. S. (2024). Modelling of non-scheduled air transportation time series based on ARIMA. *Civil Aviation High Technologies*. 27(6): pp.8-20.
- Darmograev M. S., Chernobrovkin R. A., Chekhov I. A. (2021). Introduction of a predictive warning system for possible dangerous approaches of aircraft into the air traffic management system. *Current trends in the use of airspace and promising flight support systems: Proceedings of the scientific and practical conference of teachers, listeners and students*. Moscow: AI Art Media, 2021. Pp.52-53. (In Russian)
- Garakoev A. M., Gladyshev A. I. (2023). Aircraft motion control algorithms for airborne geophysical survey. *Control Sciences*. 4: pp.38-47. DOI 10.25728/cs.2023.4.4. (In Russian)
- Gorbenko V. M. (2008). Automated control system design methodology in the ATS region. Moscow: *The State ATM Corporation*. 2008. 9 p. (In Russian)
- Hoang Quan N. N., Nechaev V. N. (2023). Proposals for the design of the airspace of the ATS sectors of the Ho Chi Minh City Area Control Center in order to increase its capacity. *Civil Aviation High Technologies*. 27(3): pp. 50-66. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66. (In Russian)
- Kostin A. S., Mayorov N. N. (2023). Research of models and methods of routing and practical implementation of autonomous movement by unmanned transport systems for cargo delivery. *Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Marine and River Fleet*. 15(3): 524-536. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-524-536. (In Russian)
- Kretov A. S., Tinyakov D. V., Shataev P. A. (2023). Conceptual assessment of fuel efficiency of passenger aircraft with transition to composite wings. *Scientific Bulletin of MSTU CA*. 26(2): 72-90. (In Russian)
- Levshonkov N. V., Nafikov I. M., Laryukhina Ya. V. (2024). The algorithm of image aggregation in the case of group use of unmanned aerial vehicles. *Scientific Bulletin of MSTU CA*. 27(2): pp. 69-79. (in Russian)
- Maksimova S. E. (2025). Risk-based geoinformation modeling of airspace for building optimal routes for unmanned civil aircraft. *Scientific Bulletin of MSTU CA*. 28(1): pp. 39-52. (In Russian)
- Neretin E. S., Nguyen T. L. F., Nguyen M. (2022). Using a data-based approach in four-dimensional trajectory forecasting: comparing learning-based models. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Recent Developments in Civil Aviation*. 2022. pp. 125-133. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_11. (In Russian)
- Nguyen T. L. F., Neretin E. S., Nguyen N. M. (2024). Development of a methodology for identifying and resolving conflict situations in the operational planning of a four-dimensional flight path. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. (2): pp. 77-95. DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_77. (In Russian)
- Sedikov T. O., Komarova D. M., Nechaev V. N. (2023). Problems of CNS/ATM development. In: *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of Russian Civil Aviation*. Pp. 469-470. (In Russian)
- Spryskov V. B., Tarakanov A. A. (2015). On the need to harmonize the Federal rules for the use of the airspace of the Russian Federation with the international rules for the procedural separation of aircraft. *Scientific Bulletin of GOSNIIGA*. 7(318): pp.81-85. (In Russian)
- Subbotin R. A. (2025). On the issue of exercises on the dispatcher simulator in the training of air traffic controllers in educational organizations of civil aviation. *Scientific Bulletin of MSTU CA*. 28(1): pp. 67-77. (In Russian)
- Vardanyan G. B., Kochetov A. S., Petrov Yu. V. (2024). Experimental studies of the impact of fluid sloshing in the tank on the dynamic characteristics of the “wing model - fuel tank” system. *Civil Aviation High Technologies*. 27(2): pp. 60-68.
- Vorobyov V. V., Kharlamov A. S. (2015). Algorithm of air traffic pre-tactical planning system. *Scientific Bulletin of MSTU CA*. 218(8): pp.135-141. (In Russian)