

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ УКРУПНЁННОМ ЦЕНТРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ****Ю.В. Обухов (Москва)**

Система управления воздушным движением (УВД) представляет собой сложную социотехническую систему, включающую в себя множество взаимодействующих друг с другом людей-операторов и технических систем. К 2025 году в мировом масштабе прогнозируется увеличение интенсивности воздушного движения (ВД) в мире в 2-3 раза [1]. В связи с этим в нашей стране проводятся мероприятия по модернизации системы УВД, внедрению новых концепций, а также по реструктуризации воздушного пространства (ВП). Это позволит обеспечить требуемую пропускную способность ВП и, в то же время, поддерживать безопасность полётов (БП) на прежнем уровне.

Оценка БП заключается в выявлении факторов опасности (ФО), а также в оценке рисков для БП, которые возникают в результате влияния ФО. В настоящее время при оценке рисков для БП применяются вероятностные модели риска столкновения воздушных судов в различных условиях [2, 3]. За рубежом развивается направление, связанное с применением агентного моделирования [4, 5].

Для получения оценок рисков для БП с использованием имитационного моделирования разработана модель, в которой осуществляется имитация функционирования взаимодействующих элементов системы УВД: полёт воздушных судов (ВС) под управлением диспетчера сектора УВД с учетом работы наземных и бортовых систем связи, наблюдения и навигации, а также автоматизированной системы УВД (АС УВД). В модели учитываются аэронавигационная структура воздушного пространства (ВП), планы полётов ВС, их лётно-технические характеристики, длительности операций диспетчера.

В соответствии с технологией работы диспетчера [6, 7] имитируются все основные операции, связанные с приемом ВС на сопровождение от диспетчера смежного сектора, сопровождением ВС и их передачей диспетчеру следующего сектора. Осуществляется обнаружение и разрешение потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС) посредством передачи соответствующих команд экипажам ВС. Все операции выполняются последовательно, при этом, когда возникает необходимость выбрать следующую, в модели определено, что операция разрешения ПКС обладает более высоким приоритетом по сравнению с другими. Длительности выполнения каждого типа операции задаются в качестве входных данных модели. В соответствии с ними также рассчитывается временная загруженность диспетчерской позиции.

В соответствии с планом полёта ВС моделируется полёт к рубежу передачи на управление диспетчерской позиции сектора, пролет этого рубежа, транзитный полёт воздушного пространства сектора и пересечение рубежа передачи следующей диспетчерской позиции. При этом траектория полёта определяется с учётом лётно-технических характеристик того типа ВС, который определён в плане полёта. Имитируется обмен сообщениями экипажа ВС с диспетчерской позицией и выполнение команд диспетчера.

В процессе моделирования имитируется реализация следующих ФО: отказ линии связи «ВС-диспетчер», отказ наземной системы наблюдения. В результате влияния этих ФО в модели фиксируются следующие события:

1. Нарушения норм эшелонирования (ННЭ), когда один ВС входит в зону безопасности другого ВС, которая определяется параметрами – длина, ширина, высота (60 км×20 км×0.25 км).
2. Опасные сближения (ОС), когда один ВС входит в зону безопасности другого ВС, при этом один из параметров безопасности нарушен более чем наполовину.
3. Столкновения, которые определяются как попадание ВС в зону соприкосновения другого ВС, определяемую параметрами – длина, ширина, высота 50 м ×50 м ×30 м.

Оценка рисков для БП осуществляется с помощью метода Монте-Карло. В ходе моделирования в определённый момент времени происходит реализация выбранного ФО. Затем в течение 20 минут модельного времени фиксируются последствия: ННЭ, ОС, столкновения. Таким образом, после набора статистики определяется риск для безопасности полётов, вызванный влиянием конкретного ФО. Для реализации этого метода необходимо, чтобы, во-первых, реализации ФО происходили в различных всевозможных ситуациях (которые определяются положением ВС друг относительно друга, загруженностью диспетчера и т. д.), а, во-вторых, чтобы последствия каждой реализации ФО не влияли на последующие реализации.

Для решения первой проблемы моделирование производится на случайном потоке ВС, длина которого может достигать нескольких лет. При этом генерация такого «длинного» случайного потока ВД выполняется на основе реальных суточных планов полётов, которые выбираются из Центрального банка данных (ЦБД) Госкорпорации по ОрВД. Для выбранного реального суточного потока определяются часовая интенсивность (количество входов ВС в сектор в час). Далее в каждый час определяется распределение самолётов по маршрутам движения в соответствии со следующими параметрами: точка входа в сектор, точка выхода из сектора, высота пролёта сектора, тип ВС. На основе данных об интенсивности ВД генерируются времена между входами ВС в сектор для нестационарного пуассоновского процесса методом разрежения [8]. Далее в каждом часе для каждого входящего в сектор ВС на основе равномерного распределения разыгрывается маршрут, по которому он должен лететь. Таким образом, формируется непрерывный поток ВД на требуемое количество лет. При этом каждый раз, когда в соответствии с принятой логикой в ходе моделирования на этом потоке ВД возможна реализация ФО, выполняется запоминание состояния моделирования. После этого в течение 20 минут модельного времени фиксируются последствия: ННЭ, ОС, столкновения. Затем производится возврат к запомненной точке, и выполнение моделирования продолжается уже без реализации ФО. Таким образом, достигается независимость реализаций ФО друг от друга.

Разработанная имитационная модель была апробирована при оценке безопасности полётов в Санкт-Петербургском укрупнённом центре обеспечения. В части структуры воздушного пространства реорганизация Санкт-Петербургского Центра ОВД предполагает объединение действующих районных центров (РЦ) в Укрупненный Центр ОВД и реконфигурацию секторов ОВД. Оценка связанных с такими изменениями рисков потребовала анализа загруженности диспетчерских позиций секторов и возможного превышения ее предельно допустимых значений. Другим фактором, влияющим на безопасность полётов, является ведение УВД из одного диспетчерского зала после реорганизации ОВД. При этом чрезвычайные обстоятельства (задымление, пожар и т.д.) могут сделать выполнение работ из этого зала невозможным, что приведет к потере УВД во всем Укрупненном Центре ОВД. Потеря управления происходит до перехода персонала из основного зала на резервный пункт УВД. В части ввода новых средств наблюдения после реорганизации ОВД

произойдет объединение радиолокационной информации от всех источников, которые раньше распределялись по отдельным центрам ОВД, будет осуществлен ввод линий передачи данных от отдаленных источников в Укрупненный Центр ОВД. Поэтому потребовалась оценка угроз при возможных отказах новых линий передачи радиолокационной информации от отдаленных источников в Укрупненном центре ОВД. Такие отказы могут привести к потере наблюдения и, следовательно, к опасным ситуациям и инцидентам.

Исследования проводились для трёх секторов, в том числе с наибольшей интенсивностью воздушного движения, входящих в ВП современного РЦ Санкт-Петербург: УЛЛЛ/Юго-Восток, УЛЛЛ/Север, УЛЛЛ/Петрозаводск. В качестве действующего варианта использовалась структура секторов ВП и маршрутов ОВД, действовавшая на дату моделирования 30.08.2013 г. В качестве предлагаемого варианта использовался один из предварительных вариантов разрабатываемой новой структуры Санкт-Петербургского укрупненного районного центра ОВД.

За основу для создания длинного потока ВД был принят суточный фактический поток за 30.08.2013 г. из ЦБД Госкорпорации по ОрВД (поток с максимальной интенсивностью на этот год). Исследовательский поток является прогнозным потоком на один год, основанным на суточном потоке ВД, он сохраняет характеристики по структуре и интенсивности ВД. За основу перспективного потока ВД был принят поток с увеличенной по сравнению с фактической (по данным ЦБД) интенсивностью в 1,5 раза.

При этом в качестве показателя рассматривался не сам риск для безопасности полётов, а величина допустимой наработки на отказ для технических систем. Эта величина рассчитывалась исходя из определённых в [9] приемлемых частот для рассматриваемых опасных событий:  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  для ННЭ,  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  для ОС,  $<10^{-8}$  для столкновений. На рисунке 1 приведён график загрузки диспетчерской позиции для фактического потока в самом загруженном секторе УЛЛЛ/Юго-Восток. На рисунке 2 представлена загрузка для увеличенного по интенсивности потока. Непрерывной линией обозначена загрузка диспетчерской позиции для действующей структуры, пунктирной – для перспективной. Результаты вычислений минимально допустимого времени между случаями потери УВД, выраженные в годах, приведены в Таблице 1. Результаты вычислений минимально допустимой наработки на отказ линий передачи данных, выраженные в годах, приведены в Таблице 2.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы:

- в перспективной структуре приемлемые уровни рисков обеспечиваются при менее жестких требованиях к надежности ЛПД;
- рисков, связанных с реорганизацией структуры ВП и загрузкой диспетчера, не выявлено, загрузка диспетчера остается на приемлемом уровне;
- требования к частоте возможной полной потери УВД для перспективной структуры ВП менее жесткие, чем для действующей структуры ВП

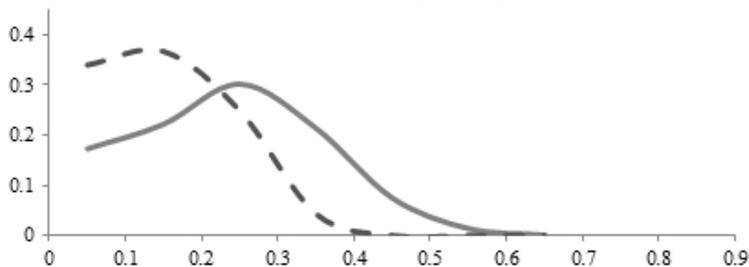


Рис. 1

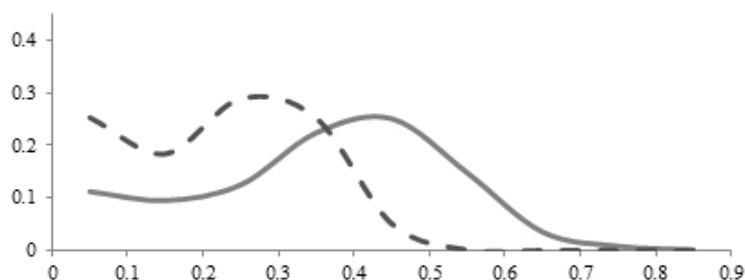


Рис. 2

Структура ВП	Действующая		Перспективная	
	Текущий	Увеличенный	Текущий	Увеличенный
Юго-Восток	12.46	15.8	0.53	0.83
Север	6.53	9.99	7.425	10.8
Петрозаводск	2.32	2.805	3.99	6.62

Таблица 1

Структура ВП	Действующая		Перспективная	
	Текущий	Увеличенный	Текущий	Увеличенный
Юго-Восток	0.1	0.196	0.133	0.106
Север	0.034	0.264	–	0.016
Петрозаводск	–	0.0235	–	–

Таблица 2

### Выводы

Оценка рисков для безопасности полётов является необходимым этапом при модернизации системы УВД, реструктуризации воздушного пространства, внедрении новых концепций, которые обеспечивают требуемую пропускную способность. В нашей стране вопрос применения имитационного моделирования для этих целей недостаточно развит. Разработанная во ФГУП «ГосНИИАС» имитационная модель позволяет оценить уровень безопасности полётов в верхнем воздушном пространстве сектора управления воздушным движением. В модель заложены алгоритмы штатных операций, выполняемых диспетчерской позицией сектора УВД в процессе управления потоком воздушных судов, в том числе разрешение потенциальных конфликтных ситуаций. Разработанная модель была апробирована при оценке безопасности при изменении структуры воздушного пространства в Санкт-Петербургском укрупнённом центре ОВД. Было рассмотрено влияние на безопасность полётов таких факторов, как реконфигурация секторов ОВД, ведение УВД из одного диспетчерского зала после реорганизации ОВД, а также объединение радиолокационной информации от всех источников и ввод линий передачи данных от отдалённых источников в Укрупнённый Центр ОВД. Результаты исследований с применением разработанной имитационной модели показывают, что реорганизация ОВД не приводит к неприемлемым рискам.

### Литература

1. Программа SESAR/Общие сведения. ЦАГИ 2010. URL: <http://www.tsagi.ru/ncp/sesar/main>.
2. Bakker G. J., Blom H. A. P. Air Traffic Collision Risk Modelling, Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Decision and Control / San Antonio, Texas, 1993.

3. Спрысков В. Б., Исаакян К. Л. Моделирование риска столкновения ВС в системах организации воздушного движения // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полётов, №52, 2002, С. 30-39.
4. Stroeve S., Blom H. A. P., Park M. Modelling of potential hazards in agent-based safety risk analysis, Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2013.
5. Blom H. A. P., Sharpanskykh A. Modelling situation awareness relations in a multiagent system, Applied Intelligence, September 2015, Volume 43, Issue 2, pp. 412-423.
6. Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации»: утв. приказом Минтранса России от 25.11.2011 №293. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902319871>.
7. Федеральные авиационные правила «Осуществление радиосвязи в воздушном пространстве Российской Федерации»: утв. приказом Минтранса России от 26.09.2012 г. № 362. URL: [http://www.mintrans.ru/upload/iblock/a75/pr\\_mt\\_utv\\_fap\\_radio\\_1.doc](http://www.mintrans.ru/upload/iblock/a75/pr_mt_utv_fap_radio_1.doc)
8. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. - СПб.: Питер, 2004, - 847 с.: ил., стр. - 555-556.
9. Руководство по системе управления безопасностью полётов при АНО ФГУП "Госкорпорация по ОрВД", ФГУП "Госкорпорация по ОрВД", 2014. URL: <http://sz.gkovd.ru/wp-content/uploads/subp/manual.pdf>