

УДК: 629.735

## **Применение имитационного моделирования для оценки безопасности полётов**

**Обухов Ю.В.\*, Попов А.С.\*\*, Орлов В.С., Котова А.О.**

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,  
ГосНИИАС, ул. Викторенко, 7, Москва, 125319, Россия*

*\*e-mail: [yurioboukhov@gosniias.ru](mailto:yurioboukhov@gosniias.ru)*

*\*\*e-mail: [andrey.popov@gosniias.ru](mailto:andrey.popov@gosniias.ru)*

### **Аннотация**

В работе приводится описание имитационной модели, позволяющей моделировать полёт воздушных судов в управляемом воздушном пространстве, а также влияние различных опасных факторов, таких как отказы /сбои технических систем и ошибки/нарушения диспетчера и экипажей воздушных судов. Рассматриваются методические вопросы, связанные с получением оценок безопасности полётов посредством такой модели. В качестве примера приводятся результаты исследования безопасности полётов при создании Санкт-Петербургского укрупнённого центра обслуживания воздушного движения.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, имитационное моделирование, опасный фактор, оценка рисков

## **Проблема оценки безопасности полётов**

Основная задача системы управления безопасностью полётов (СУБП) прогностического типа заключается в обеспечении разумного уровня и удержании под контролем рисков для безопасности полётов (БП) и эксплуатационных ошибок [1]. Для её решения необходимо своевременно выявлять факторы опасности и оценивать серьёзность и частоту (вероятность) событий, которые могут произойти в результате влияния этих факторов. При оценке безопасности полётов (ОБП) наряду с техническими факторами в качестве ключевого аспекта должен быть принят во внимание человеческий фактор.

В настоящее время основным методом выявления вышеуказанных факторов является метод «мозгового штурма», проводимого группой высококвалифицированных экспертов, состоящей из диспетчеров, пилотов и других специалистов. Оценка рисков включает в себя оценку серьёзности событий, связанных с выявленными опасными факторами и оценку частоты этих событий, а именно, определение ожидаемого количества авиационных происшествий и инцидентов определённого типа за полётный час. Для оценки вероятности наступления последствий опасного фактора используются имеющиеся в распоряжении экспертов статистические данные. У такого подхода есть ряд недостатков, связанных с субъективизмом экспертной оценки, возможным не выявлением (пропуском) угрожающих факторов, отсутствием у экспертов

достаточных статистических данных, применяемых для статистической оценки доверительным интервалом.

Получение таких оценок возможно при двух других подходах к моделированию процесса организации воздушного движения (ОВД), основанных на математическом моделировании. Это, во-первых, переход к аналитическому моделированию процессов ОВД. К настоящему времени такой подход уже получил достаточно широкое распространение при выявлении и анализе факторов риска для безопасности полетов, связанных с ОВД на этапах создания укрупнённых центров ОВД. В практических задачах ОБП применяются обоснованные в [2, 3, 4, 5] вероятностные модели риска столкновения в различных условиях: при движении ВС на одной трассе и по пересекающимся трассам, при процедурном управлении и в условиях непрерывного радиолокационного контроля. Этот подход позволяет получить обобщенные, количественно-качественные результаты, характеризующие ситуацию с безопасностью. Однако аналитическая модель не способна в полной мере оценить влияние на процесс «человеческого фактора». Кроме того, для построения аналитических моделей необходимо вносить ряд допущений и упрощений, которые снижают точность результатов и адекватность модели.

Второй подход заключается в применении имитационного моделирования (ИМ). В имитационной модели необходимо имитировать полёт воздушных судов в управляемом воздушном пространстве. Преимуществами данного метода, помимо,

собственно, реализации прогностического подхода к управлению безопасностью полетов, являются получение большого объёма данных для анализа, получение промежуточных данных (для выявления причин возникшей ситуации), ускоренное моделирование, возможность неоднократного повторного «прокручивания» ситуации, создания новых сценариев, учёта новых факторов.

### **Применение имитационного моделирования для решения задачи оценки рисков, связанных с безопасностью полётов**

Для получения необходимых статистических данных используется имитационная модель. В модели осуществляется подробная имитация функционирования взаимодействующих подсистем системы управления воздушным движением (УВД): полета воздушных судов (ВС) под управлением диспетчеров УВД с учетом работы наземных и бортовых систем связи, наблюдения и навигации, а также автоматизированной системы УВД (АС УВД). Для оценки рисков системы в модель включена имитация влияния опасных факторов – отказов технических систем, ошибок и нарушений пилотов и диспетчеров, задержек в работе тех и других.

Входными данными для модели являются аэронавигационная структура воздушного пространства (ВП), планы полётов ВС, их лётно-технические характеристики, параметры навигационного оборудования ВС, параметры наземного навигационного оборудования, параметры системы связи «борт-земля», параметры эшелонирования и некоторые другие.

В процессе моделирования имитируется реализация различных факторов опасности, а также фиксируются различные авиационные инциденты и происшествия, такие как, нарушения норм эшелонирования (ННЭ), опасные сближения (ОС), столкновения. Таким образом, формируются данные для оценки рисков для безопасности полётов, а именно частоты возникновения авиационных инцидентов и происшествий различного типа.

Модель позволяет также решать обратную задачу: задавшись требуемыми уровнями безопасности, которые, как правило, выражаются значением вероятности авиационного происшествия или инцидента на час налёта ВС, можно получить требования к максимально допустимой вероятности проявления фактора опасности. Для этого необходимо в произвольные моменты времени имитировать реализацию выбранного фактора опасности и затем в течение некоторого времени фиксировать факты различных авиационных происшествий и инцидентов, если таковые имели место. По результатам большого количества реализаций определяются оценки условных вероятностей возникновения определённых типов происшествий.

Рассмотрим известное соотношение теории вероятностей [6]:

$$P(AB) = P(A)P(B|A) \quad (1)$$

где  $P(AB)$  – вероятность произведения двух событий,  $P(A)$  – вероятность события  $A$ ,  $P(B/A)$  – условная вероятность события  $B$ , вычисленная при условии, что событие  $A$  имело место.

Для нашего случая событие  $A$  – это реализация опасного фактора (ошибка диспетчера, ошибка экипажа ВС, отказ технической системы и т. д.), событие  $B$  – авиационное происшествие или инцидент определённого типа, произошедшее в результате влияния этого опасного фактора. Исходя из формулы (1) можно вывести следующее соотношение, позволяющее вычислить предельно допустимую вероятность реализации опасного фактора:

$$P_{o.ф.} = \frac{N_{ч.л.} \cdot N_{o.ф.}}{N_{ч.} \cdot n_{a.л.}} \cdot P_{a.л.} \quad (2)$$

где  $P_{o.ф.}$  – предельно допустимая (максимальная) вероятность проявления опасного фактора,  $N_{ч.л.}$  – количество часов налёта,  $N_{o.ф.}$  – количество реализаций опасного фактора,  $N_{ч.}$  – количество часов модельного времени,  $n_{a.л.}$  – количество реализаций опасного фактора, в результате которых произошли авиационные происшествия определённого типа,  $P_{a.л.}$  – вероятность авиационного происшествия или инцидента определённого типа.

Имитация воздушного движения (ВД) через заданную область ВП основана на моделировании множества полетов ВС, каждый из которых стремится выполнять свой план полета. План строится с учётом лётно-технических характеристик типа ВС, к которому принадлежит рейс.

Статистическое моделирование требует большого по времени объема данных: сотен суток или даже нескольких лет. Это обусловлено требованиями оценки

показателей, связанных с очень редко встречающимися событиями. Для решения этой проблемы формируется «длинный» поток ВД. Генерация такого длинного случайного потока ВД выполняется на основе характеристик реальных суточных потоков за выбранные пользователем сутки (либо выбранных исследовательских потоков): средней почасовой интенсивности, частоте использования типов ВС, частоте использования точек входа и разных маршрутов, параметров вертикального профиля полета.

Для оценки рисков для безопасности полетов (вероятности  $P_{o.ф.}$  в формуле (2)), вызванных влиянием конкретного фактора опасности, в модели принята следующая схема получения результатов статистического моделирования: каждый раз, когда в соответствии с принятой логикой возможна реализация фактора опасности, перед её моделированием выполняется запоминание всех переменных задачи. После моделирования этой реализации в точке 1 (Рисунок 1) и моделирования последствий в течение заданного временного интервала процесс продвижения времени останавливается. Затем производится откат к запомненной точке, после этого выполнение моделирования продолжается уже таким образом, что в точке 1 реализация ОФ не производится, запоминание всех переменных задачи в точке 2, моделирование ошибки/нарушения в точке 2 (Рисунок 1) и моделирование последствий в течение заданного временного интервала, остановка моделирования, возврат к запомненной точке, и.т.д.

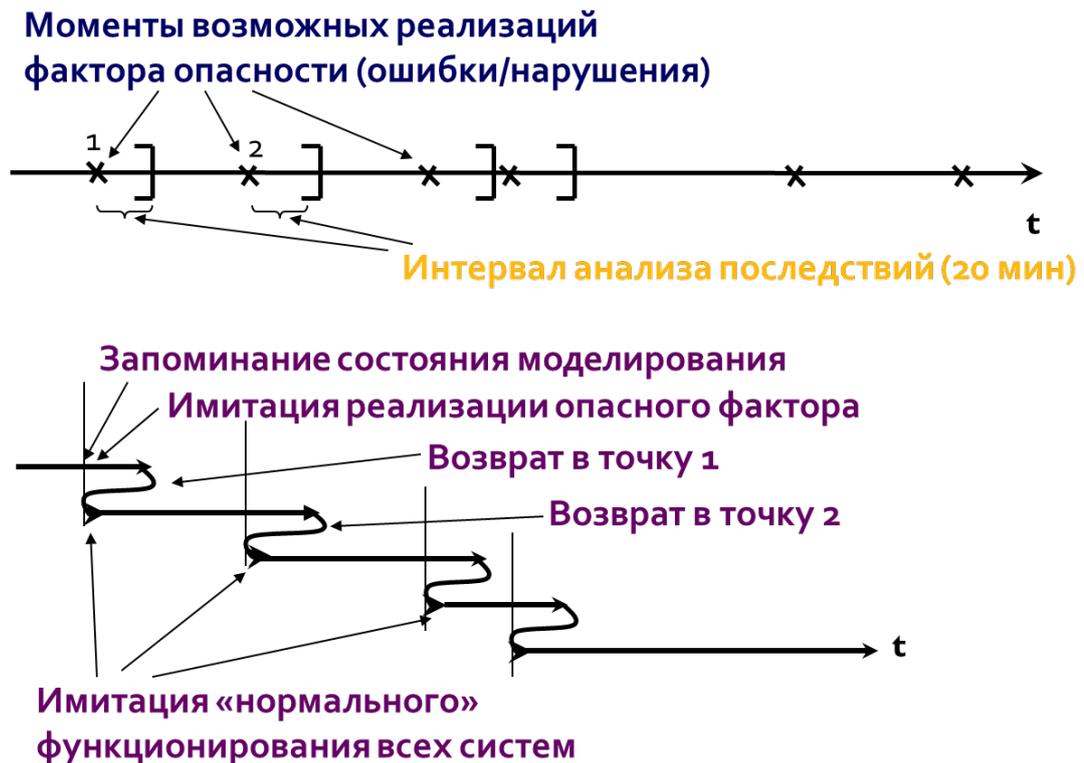


Рисунок 1

Таким образом, достигается строгая независимость реализаций фактора опасности, имитация таких откатов обеспечивает эквивалентность моделированию от начального момента и одновременно экономию затрат времени на моделирование.

### **Моделируемые факторы опасности**

В имитационной модели моделируется реализация следующих факторов опасности:

#### **1. Ошибки/нарушения человека:**

а) Ошибки/нарушения диспетчера при принятии решений. Эти ошибки/нарушения имитируются при моделировании действий диспетчера,

связанных с обнаружением потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС), возникающих в процессе выполнения ВС своих планов полётов, и реакцией диспетчера на них. Ошибки/нарушения диспетчера заключаются в игнорировании ПКС, что может приводить к различным типам реальных конфликтов (нарушение норм эшелонирования, опасное сближение, столкновение).

б) Ошибки и нарушения экипажа при принятии решений. Имитируются возможностью неправильной реакции экипажа на команду диспетчера в модели полета ВС.

## 2. Задержки в выполнении действий:

в) Задержки диспетчера при принятии решений. Учитываются путем формирования очереди выполняемых операций и учета времени ожидания выполнения в модели диспетчера. Эта задержка может привести к несвоевременной выработке команды диспетчера по разрешению ПКС и тем самым к возникновению опасной ситуации.

## 3. Погрешности:

г) Погрешности навигации и самолётовождения ВС. Моделируется случайная ошибка выдерживания программной траектории, что создаёт возможность нарушения норм эшелонирования.

д) Погрешности наземной системы наблюдения. Моделируется случайная ошибка в определении текущего положения ВС системой управления воздушным движением, что может приводить к неправильной оценке воздушной ситуации диспетчером.

#### 4. Отказы и сбои:

е) Отказ наземной системы наблюдения за ВС. Выражается в переходе диспетчером на процедурное управление по докладам ВС и в увеличении норм эшелонирования.

ж) Отказ линии связи «борт-земля». Выражается в отсутствии обмена сообщениями между диспетчерской позицией и ВС, что эквивалентно прекращению управления воздушным движением.

з) Отказ наземной системы навигации. Моделируется интервалом времени недоступности использования внешнего навигационного оборудования всеми ВС, приводит к увеличению погрешностей самолетовождения.

и) Отказ бортовой навигационной системы. Моделируется интервалом времени недоступности использования соответствующей навигационной системы. На этом интервале имитируется использование менее точной системы путем увеличения уровня погрешностей самолетовождения. Ситуация приводит к увеличению погрешностей самолетовождения.

к) Отказ АС УВД имитируется как отказ системы наблюдения.

л) Недоставка или искажение отдельного сообщения от диспетчерской позиции (ДП) к ВС и наоборот. Моделируется увеличением времени соответствующей операции.

#### **Состав и структура имитационной модели оценки безопасности полётов**

Имитационная модель оценки безопасности полётов моделирует управляемое воздушное движение в секторе районного центра и состоит из следующих моделей: наиболее подробные модель воздушной обстановки (ВО) и диспетчерского управления (МДУ), модели наземной системы наблюдения, системы связи, системы навигации, а также модели имитации продвижения времени. Также включены в модель модуль отображения воздушной обстановки и модуль расчёта показателей. На Рисунок 2 представлена информационная схема функционирования модели. Стрелки на рисунке соответствуют обмену данными между моделями. На схеме представлены только основные данные, которыми обмениваются модели.

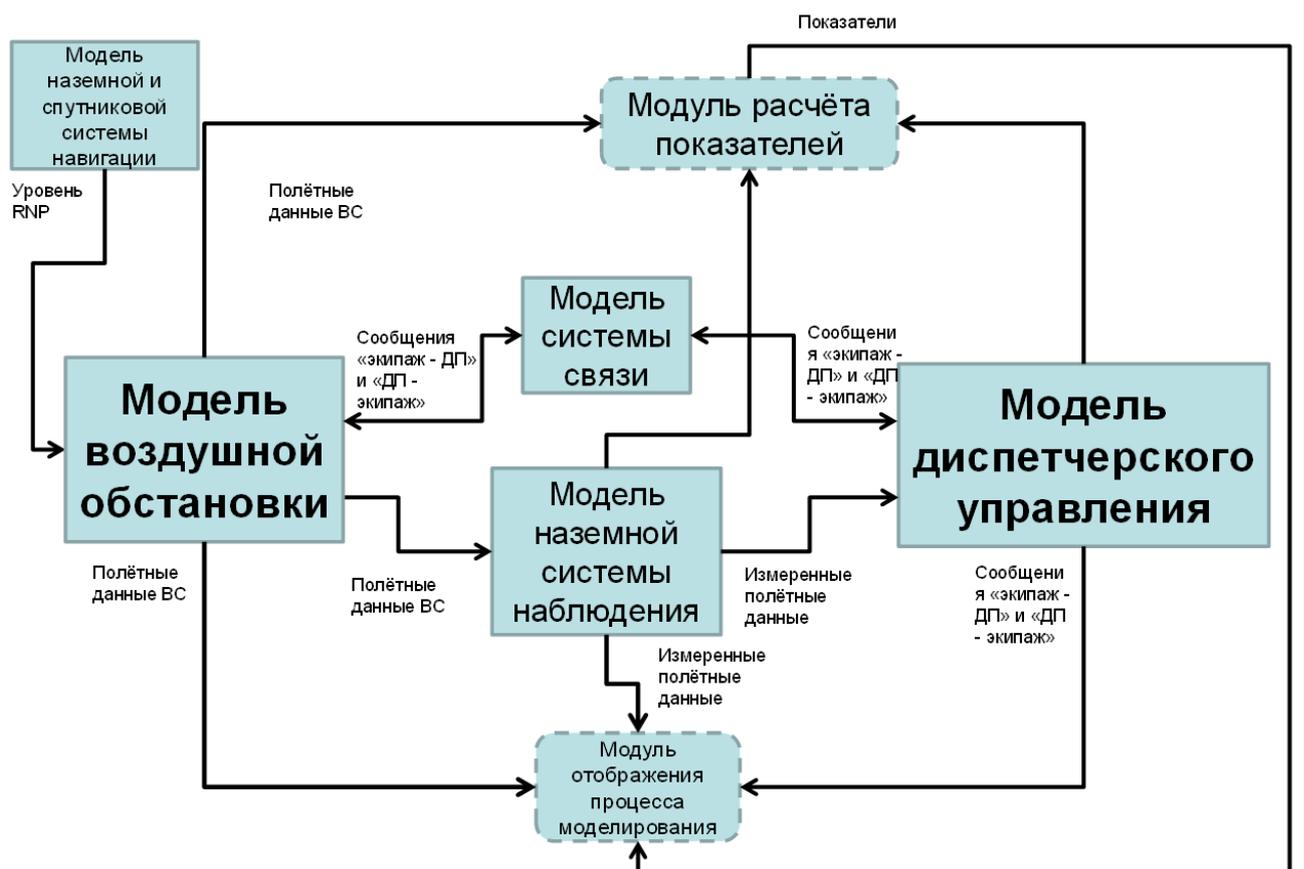


Рисунок 2

## Модель диспетчерской позиции

Модель диспетчерской позиции имитирует все основные операции, в соответствии с технологией работы диспетчера [7, 8], связанные с приемом ВС на сопровождение от диспетчера смежного сектора, сопровождением ВС и передачей ВС диспетчеру следующего сектора. При этом предоставляется возможность моделировать ошибки/нарушения диспетчера, такие как, например, неправильное выполнение операций определённого типа. Полный список имитируемых операций:

1. Согласование условий входа в зону до пролета рубежа передачи УВД.
2. Прием на сопровождение при пролете ВС рубежа передачи УВД.
3. Сопровождение при пролете ВС пункта обязательного донесения (ПОД).
4. Сопровождение при изменении эшелона при полете ВС по трассе.  
Сопровождение при достижении ВС заданного эшелона.
5. Сопровождение при пролете ВС рубежа начала снижения.
6. Согласование условий выхода из зоны до пролета рубежа передачи УВД со следующим диспетчером смежного сектора. Имитация необходимости коррекции условий выхода, выдача решений экипажу ВС.
7. Передача на сопровождение при пролете ВС рубежа передачи.
8. Сопровождение при нарушениях экипажем выданных условий полета.
9. Обнаружение и разрешение потенциальных конфликтных ситуаций.

## Модель воздушной обстановки

Модель воздушной обстановки представляет собой совокупность моделей полета множества воздушных судов (ВС), пролетающих моделируемый сектор. Для каждого ВС, выполняющего полет в соответствии с собственным планом, моделируется подлет к рубежу передачи его на управление диспетчерской позиции моделируемого сектора, пролет этого рубежа, транзитный пролет воздушного пространства сектора и пересечение рубежа передачи следующей диспетчерской позиции. В процессе полёта имитируется обмен сообщениями экипажа ВС с диспетчерской позицией и выполнение команд диспетчера.

Модель динамики ВС разбита на два блока: система стабилизации и кинематика движения ВС. Модель системы стабилизации включает три канала управления:

- управление по направлению (канал курса);
- управление по высоте (вертикальный канал);
- управление по скорости (продольный канал).

Апериодическая модель регулятора канала курса задается следующими уравнениями:

$$\dot{\psi} = D_k (\psi^* - \psi),$$

$$\text{если } \dot{\psi} > \dot{\psi}_m, \text{ то } \dot{\psi} = \dot{\psi}_m,$$

$$\text{если } \dot{\psi} < -\dot{\psi}_m, \text{ то } \dot{\psi} = -\dot{\psi}_m,$$

где  $\psi$  - текущий угол курса,  $\psi^*$  - команда управления (заданный угол курса),  $D_\kappa$  – добротность канала курса системы стабилизации,  $\dot{\psi}_m$  – максимально возможная угловая скорость изменения курса при координированном развороте  $\dot{\psi}_m = \left( \frac{g \cdot tg \gamma_m}{V_\epsilon} \right)$ , где  $g$  - ускорение свободного падения,  $\gamma_m$  – максимальный угол крена при координированном развороте,  $V_\epsilon$  – текущая воздушная скорость ВС.

Апериодическая модель регулятора канала высоты задается следующими уравнениями:

$$\dot{H} = D_\epsilon (H^* - H),$$

$$\text{если } \dot{H} > \dot{H}_{\max}, \text{ то } \dot{H} = \dot{H}_{\max},$$

$$\text{если } \dot{H} < \dot{H}_{\min}, \text{ то } \dot{H} = \dot{H}_{\min},$$

где  $H$  – текущая высота полета,  $H^*$  - команда управления (заданная высота полета),  $\dot{H}_{\max}$  и  $\dot{H}_{\min}$  – максимальные скорости подъема и снижения соответственно,  $D_\epsilon$  – добротность канала высоты системы стабилизации.

Апериодическая модель регулятора канала скорости задается следующими уравнениями:

$$\dot{V} = D_c (V^* - V),$$

$$\text{если } \dot{V} > \dot{V}_{\max}, \text{ то } \dot{V} = \dot{V}_{\max},$$

$$\text{если } \dot{V} < \dot{V}_{\min}, \text{ то } \dot{V} = \dot{V}_{\min},$$

где  $V$  – текущая скорость полета,  $V^*$  - команда управления (заданная скорость полета),  $\dot{V}_{\max}$  и  $\dot{V}_{\min}$ , – максимальные ускорение и торможение соответственно,  $D_c$  – добротность канала управления скоростью.

Кинематика движения ВС имитируется численным интегрированием дифференциальных уравнений, описывающих изменение во времени текущего состояния ВС. Численное интегрирование дифференциальных уравнений производится методом Эйлера первого порядка.

Ниже приведены уравнения движения ВС, соответствующие описанию кинематики движения центра масс ВС в сферической системе координат с учетом ветра.

$$\begin{aligned} \frac{dB}{dt} &= \frac{V_g \cos \psi}{(R_3 + H)}, \\ \frac{dL}{dt} &= \frac{V_g \sin \psi}{(R_3 + H) \cos B}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $B$ ,  $L$  - широта и долгота текущего положения ВС,  $V_g$  – текущая воздушная скорость,  $\psi$  - текущий угол курса,  $H$  – текущая высота полета,  $R_3$  – радиус Земли.

### **Модели технических систем**

Модель наземной системы навигации формирует и выдаёт данные о навигационном покрытии моделируемого воздушного пространства и проблемах с ним (отказах навигационного оборудования).

Модель системы связи имитирует качество прохождения сообщений между землей и бортом - с учетом ошибок и искажений, а также возможных пропусков и даже полных отказов системы связи. Имитируется только работа голосовой связи «борт-земля».

Модель наземной системы наблюдения получает на вход полётные данные о ВС от модели ВО и выдаёт «измеренные» полётные данные. Имитируются ошибки наблюдения, а также отказы системы наблюдения (в том числе и связанные с отказами систем передачи данных).

Модель отображения процесса моделирования выполняет следующие функции: отображение воздушной обстановки, отображение обмена сообщениями в процессе выполнения управляемых полетов, отображение в наглядной форме некоторых показателей, характеризующих моделируемые процессы, отображение воздушной обстановки на двухмерной карте.

### **Оценка безопасности полётов при создании Санкт-Петербургского укрупнённого центра ОВД**

Разработанная имитационная модель была апробирована при оценке безопасности полётов в Санкт-Петербургском укрупнённом центре ОВД в рамках работ, выполненных по заказу ФГУП «Госкорпорация по ОрВД».

В части структуры воздушного пространства реорганизация Санкт-Петербургского Центра ОВД предполагает объединение действующих районных

центров (РЦ) в Укрупненный Центр ОВД и реконфигурацию секторов ОВД. На рисунке 3 пунктирной линией выделены РЦ, которые будут входить в состав укрупнённого центра. Оценка связанных с такими изменениями рисков потребовала анализа загруженности диспетчерских позиций секторов и возможного превышения ее предельно допустимых значений.



Рисунок 3 Западная часть воздушного пространства РФ с выделенными РЦ, которые будут входить в укрупнённый центр ОВД

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.

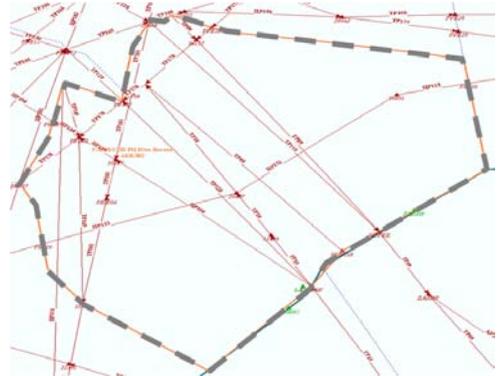
Исследования проводились для нескольких секторов, в том числе с наибольшей интенсивностью воздушного движения, входящих в ВП современного РЦ С.-Петербург: УЛЛЛ/Юго-Восток, УЛЛЛ/Север, УЛЛЛ/Петрозаводск (рисунок 4). В качестве действующего варианта использовалась структура секторов ВП и маршрутов ОВД, 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.

За основу для создания исследовательского потока ВД был принят суточный фактический поток за 30.08.2013 г. из Центрального банка данных (ЦБД) Госкорпорации по ОрВД (поток с максимальной интенсивностью на этот год).

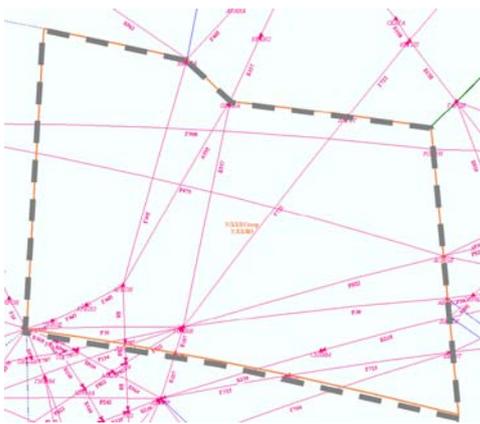
Исследовательский поток является прогнозным потоком на один год, основанным на суточном потоке ВД, он сохраняет характеристики по структуре и интенсивности ВД.



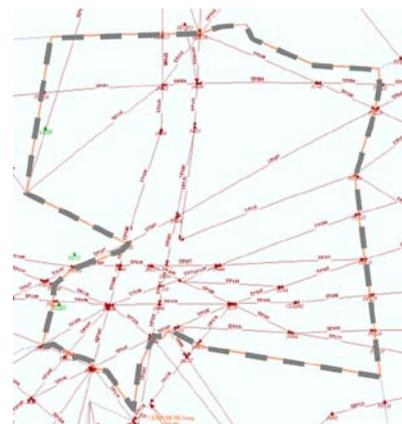
а)



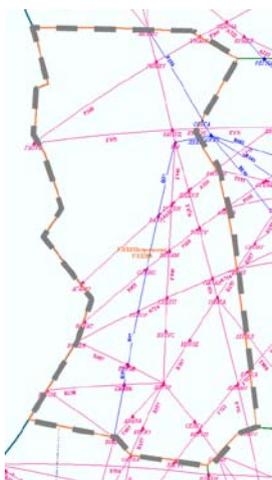
б)



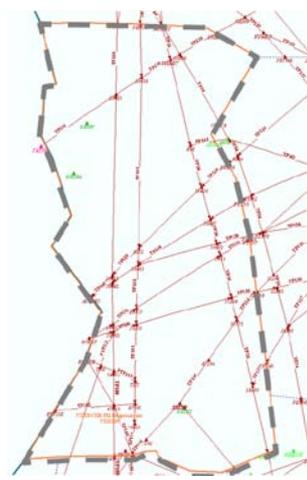
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4 Трассовая структура и границы секторов: УЛЛЛ/Юго-Восток а) действующая и б) перспективная; УЛЛЛ/Север в) действующая и г) перспективная; УЛЛЛ/Петрозаводск д) действующая и е) перспективная

За основу перспективного потока ВД был принят поток с увеличенной по сравнению с фактической (по данным ЦБД) интенсивностью в 1,5 раза.

Таким образом, исследования проводились для действующей и перспективной структуры ВП, для фактического, прогнозного потока и потоков с увеличенной интенсивностью, что позволило сравнить показатели безопасности для текущей и планируемой к вводу структур ВП Санкт-Петербургского укрупнённого РЦ, а также спрогнозировать изменение показателей при увеличении интенсивности полётов.

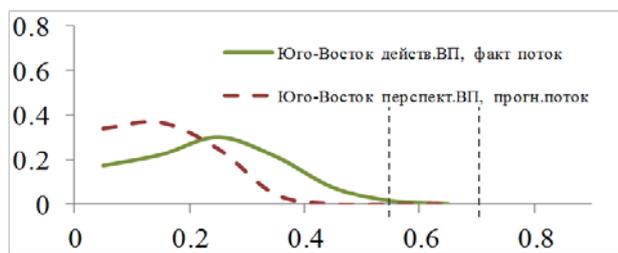
В соответствии с [9] были приняты следующие градации «предельных» частот для авиационных происшествий и инцидентов различного типа для района УВД:  $10^{-8}$  на час налета для столкновений,  $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  для опасных сближений и  $10^{-7}$  -  $10^{-6}$  для ННЭ.

При оценке влияния отказов линий передачи данных (ЛПД) на основе результатов работы имитационной модели производился расчёт минимально допустимого времени наработки на отказ. Результаты расчётов для рассматриваемых секторов приведены на рисунке 5. В каждой группе гистограммы первый столбец представляет значение для текущей структуры, второй - для перспективной.

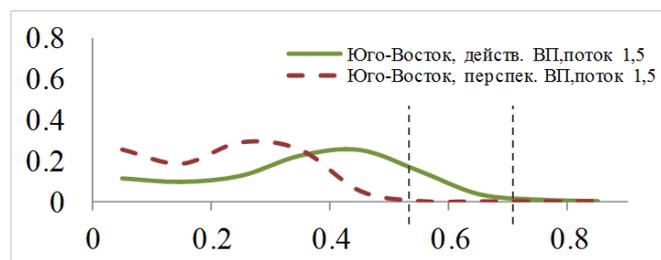


исследуемым структурам, независимо от потока: для действующей структуры и для перспективной структуры.

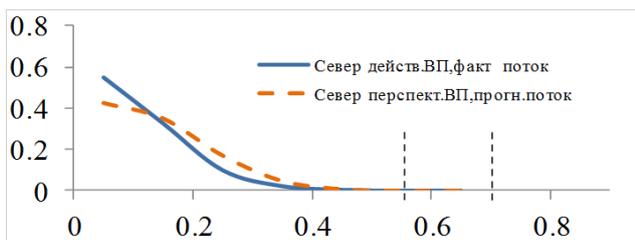
Итоговая гистограмма, выражающая зависимость максимально допустимого времени на один случай потери УВД от времени восстановления (длительности отказа), представлена на рисунке 7.



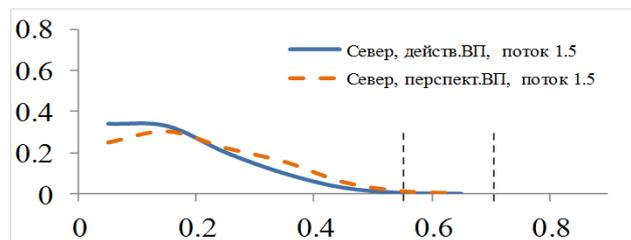
а)



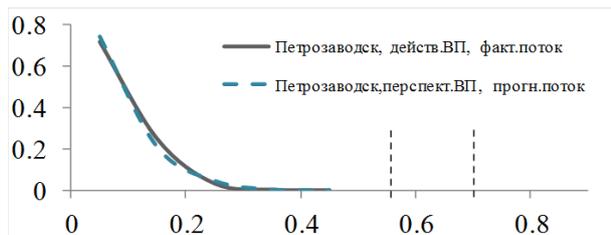
б)



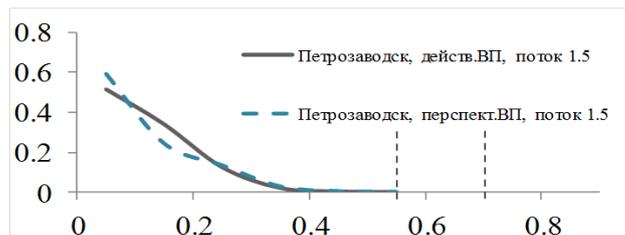
в)



г)



д)



е)

Рисунок 6 Временная загрузка диспетчерской позиции: а) сектор Юго-Восток, фактический поток; в) сектор Юго-Восток, увеличенный в 1,5 раза поток; в) сектор Север, фактический поток; г) сектор Север, увеличенный в 1,5 раза поток д) сектор

Петрозаводск, фактический поток; е) сектор Петрозаводск, увеличенный в 1,5 раза

ПОТОК



Рисунок 7 Число лет, в которые допускается потеря УВД в Санкт-Петербургском укрупнённом центре ОВД без снижения уровня безопасности

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.

## Выводы

Была разработана имитационная математическая модель для оценки безопасности полётов, в которой производится имитация воздушного движения под управлением диспетчера сектора УВД. При этом моделируется только верхнее воздушное пространство сектора. В модель заложены алгоритмы штатных операций, выполняемых диспетчерской позицией сектора УВД в процессе управления потоком воздушных судов, такие как согласование условий входа в зону до пролета рубежа передачи УВД, прием на сопровождение при пролете ВС рубежа передачи УВД, сопровождение при пролете ВС ПОД, разрешение потенциальных конфликтных ситуаций и другие. В модели имитируется влияние различных опасных факторов, таких как, отказы и сбои различных технических систем, а также ошибки и нарушения диспетчера при принятии решений. Производится оценка влияния этих факторов на безопасность полётов.

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 ИММ ОБП показывают, что реорганизация ОВД не приводит к неприемлемым рискам.

Среди дальнейших направлений работы можно выделить развитие алгоритмов имитации операций, выполняемых диспетчерской позицией, в частности, разрешения потенциальных конфликтных ситуаций, имитация в математической модели полета ВС под управлением в зонах подхода и аэродрома (полет от взлета до посадки) и введение в связи с этим возможности учёта влияния новых факторов опасности.

### **Библиографический список**

1. Safety Management Manual (SMM) Doc 9859 AN/474. ICAO, Third Edition, 2013.  
URL: <http://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition.alltext.en.pdf>
2. 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. 2002. №52. С. 30-39.
3. Грибков И. М., Спрысков В. Б., Щербаков Л. К. Модель оценки риска катастроф ВС при движении на одной трассе на одной высоте // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия: Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полётов. 2005. №90 (8). С. 63-71.

4. Грибков И. М., Спрысков В. Б., Щербаков Л. К. Модель оценки риска катастроф ВС при движении по пересекающимся воздушным трассам на одной высоте // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия: Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полётов. 2005. № 90(8). С. 53-62.
5. Bakker G. J., H. Blom Air Traffic Collision Risk Modelling, Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Decision and Control / San Antonio, Texas, 1993.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. - М.: Высшая школа, 2001. - 575 с.
7. 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> (дата обращения 12.09.2014).
8. Федеральные авиационные правила «Осуществление радиосвязи в воздушном пространстве Российской Федерации»: утв. приказом Министерства транспорта РФ 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) (дата обращения 12.09.2014).
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> (дата обращения 12.09.2014).
10. Методика определения нормативов пропускной способности диспетчерских пунктов (секторов) органов обслуживания воздушного движения: утв. приказом

Федерального агентства воздушного транспорта от 07.11.2012 г. №757, URL:  
<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70165526/> (дата обращения  
12.09.2014).