

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВАРИАНТОВ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СЕКТОРОВ УВД С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю.В. Обухов (Москва)

Безопасность полетов (БП) является одним из приоритетов развития гражданской авиации. В России в настоящее время проводится реорганизация районных диспетчерских центров управления воздушным движением (УВД), изменение структуры трасс, границ секторов УВД [1]. Поэтому актуальной становится задача оценки БП для вариантов структуры воздушного пространства (ВП), планируемых к внедрению. Одним из общих относительных показателей БП является риск опасных событий (ОС) – авиационных происшествий или инцидентов (под термином «риск» понимается частота таких событий):

$$Q = N/H$$

где N – количество ОС, имевших место за рассматриваемый период наблюдения в данной области (ВП), H – налет всех воздушных судов (ВС) в часах за рассматриваемый период наблюдения в данной области ВП.

Для того чтобы определить приемлемость полученного уровня БП, необходимо сравнить его с максимально допустимым риском, который выражается величиной *TLS* (*Target Level of Safety*):

$$Q \leq TLS \text{ [событий на час налета]}. \quad (1)$$

В общем случае риск появления опасных событий зависит от большого количества факторов, как детерминированных, так и случайных. Поэтому представляется целесообразным определять влияние их на риск по отдельности. Одним из случайных факторов является возможность отказа технических систем (ТС) наблюдения и связи. В случае отказа системы наблюдения диспетчеры УВД не имеют возможности видеть, где находятся в данный момент ВС и переходят на управление на основе докладов экипажей ВС. В случае отказа системы связи диспетчеры полностью лишаются возможности управления потоком ВС, а экипажи ВС – возможности изменять свой маршрут движения и высоту (в рамках данного материала мы не рассматриваем работу системы предупреждения столкновения ВС в воздухе). И в том и в другом случае возникают риски возникновения ОС. Запишем уравнение риска с ледующим образом:

$$Q = P(A) \cdot P(B|A),$$

где событие A – это отказ ТС, $P(B|A)$ – условная вероятность ОС в результате отказа ТС.

С учетом (1) можно записать выражение для предельно допустимого значения величины $P(A) \leq P^{*}(A)$:

$$P^{*}(A) = TLS / (P(B|A)) \quad (2)$$

Поскольку значение *TLS* выражается в единицах на час налета, а требования к надежности ТС выражаются в допустимом количестве отказов на час времени функционирования, необходимо произвести приведение этих величин друг к другу с помощью коэффициента налета:

$$k_n = T_{\text{налет}} / T \quad (3)$$

где $T_{\text{налет}}$ – количество часов налета за рассматриваемый период времени; T – количество часов в рассматриваемом периоде времени.

Условная вероятность $P(B|A)$ определяется следующим образом:

$$P(B|A) = n / N \quad (4)$$

где N – количество отказов ТС, n – количество отказов ТС, в результате которых были зафиксированы ОС.

Тогда уравнение (2) с учетом (3) и (4) можно записать в следующем виде:

$$P^*(A) = (TLS \cdot N \cdot T_{налет}) / (n \cdot T) \quad (5)$$

Требования к надёжности ТС выражаются в допустимой величине наработки на отказ, которая является величиной, обратной допустимой вероятности отказа:

$$T^*(A) = (n \cdot T) / (TLS \cdot N \cdot T_{налет}) \quad (6)$$

Применение имитационного моделирования для оценки БП

Параметры уравнений (5) и (6) n , $T_{налет}$, T и N можно вычислять с помощью имитационной модели управляемого воздушного движения методом Монте-Карло. Для этого в процессе моделирования необходимо имитировать отказы ТС, а затем регистрировать факты ОС, которые происходят по причине этого отказа. Случайной должна быть воздушная обстановка в секторе в момент отказа. С этой целью в модели предусматривается возможность формирования случайных потоков воздушного движения (ВД) требуемой интенсивности. Подробный состав и структура модели были рассмотрены в [2].

В состав модели входят следующие компоненты: модели воздушной обстановки (ВО) и диспетчерского управления, модели наземной системы наблюдения, системы связи, а также модули отображения ВО и расчета показателей. Главной задачей модели является обнаружение и разрешение возможных конфликтов между ВС. Диспетчер на основе прогноза траектории полета пар ВС определяет возможность появления ОС между ними на временном горизонте 15 минут, и принимает меры к их предотвращению. Разрешение осуществляется с помощью нескольких мер регулирования: изменение или запрет смены эшелона полета ВС, изменение горизонтальной или вертикальной скоростей полета ВС. Модель ВО имитирует движение совокупности ВС, пролетающих моделируемое ВП. Каждый самолет выполняет полет в соответствии с собственным планом, запрашивает разрешения у диспетчера на выполнение операций, связанных с выполнением этого плана, а также выполняет указания диспетчера по изменению траектории для разрешения возможных конфликтов. Имитация полета осуществляется в соответствии с ЛТХ типа ВС. Модель системы связи имитирует канал связи между диспетчерской позицией и экипажами ВС. Моделируется возможность искажения сообщений, а также их возможный пропуск и отказы системы связи. Модель наземной системы наблюдения формирует «измеренные» данные о местоположении самолетов. Имитируются ошибки наблюдения, а также отказы системы наблюдения.

Оценка безопасности полетов варианта аэронавигационной структуры сектора управления воздушным движением (УВД). Получение требований к надёжности ТС с применением имитационного моделирования (ИМ) представляется возможным для сектора УВД, поскольку технология работы диспетчера сектора вполне определена и может быть реализована в рамках имитационной модели. Сектор УВД представляет собой ограниченный объём ВП, в котором управление ВД осуществляется одной диспетчерской позицией. ВС, пролетающие сектор, движутся по одной или нескольким воздушным трассам (рис. 1). На рис. 1 точки А, Б, В и Г – точки входа в сектор, точки Д, Е, Ж – точки выхода из сектора. Точки 1 и 2 – это точки слияния и пересечения трасс. Стрелками указаны направления движения ВС по трассам.

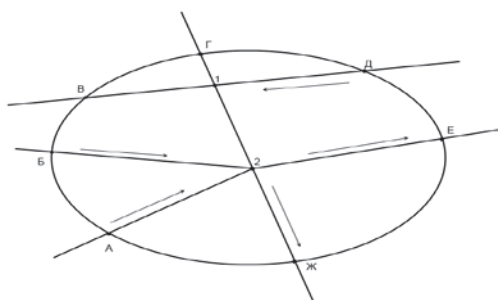


Рис. 1

Было проведено ИМ управляемого ВД в секторе, представленном на рис. 1. Был задан базовый поток ВС, параметры которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Маршрут	Тип ВС	Высота полета, м	Интенсивность, ВС/ч	Протяженность маршрута, км
А-2-Е	Б-737	10650	2	300
Б-2-Е	Б-777	10650	2	305
Г-1-2-Ж	Б-777	10350	2	90
Д-1-В	Б-777	10650	2	295

В секторе присутствуют три трассы, которые пересекаются в одной точке 2. Поскольку поток ВС на этих трассах движется на одной высоте, то в этой точке планируется большое количество потенциальных конфликтных ситуаций, которые диспетчеру придется разрешать, чтобы не допустить ОС. Также наличие пересечения трасс Д-1-В и Г-1-2-Ж в точке 1 создает ограничения для диспетчера в возможностях регулирования движения по этим трассам. Для обеспечения бесконфликтности потока ВС на входе в сектор применялось ограничение: если в результате розыгрыша времени входа получалось, что расстояние между ВС при входе первого из них в сектор меньше 15 км, то второй ВС сдвигался назад по времени для обеспечения требуемого интервала между ними.

В качестве регистрируемых ОС были выбраны нарушения норм эшелонирования (ННЭ). Определение фактов ННЭ проводилось как попадание центра масс первого ВС в цилиндрический объем, описанный вокруг центра масс второго ВС. Параметры цилиндра, используемого для определения ННЭ имели следующие значения (рис. 2): диаметр $D = 20000$ м., высота $h = 540$ м.

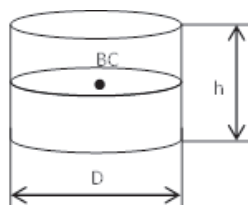


Рис. 2

Определение допустимой интенсивности потока ВС. Задача определения допустимой интенсивности представляется важной при проектировании новой структуры ВП. В этом случае необходимо определить, что проектируемая структура позволяет обеспечить требуемую пропускную способность с точки зрения временной загрузки диспетчера с учетом

прогноза на увеличение интенсивности ВД в будущем. Решение этой задачи предполагает выполнение следующих действий: проводится ИМ управляемого ВД в рассматриваемом секторе с воздушными потоками увеличенной интенсивности. Рассчитывается временная относительная загруженность диспетчерской позиции. В случае, если фиксируется факт превышения допустимого значения загруженности 0,7 (диспетчер перегружен) либо в результате моделирования фиксируются случаи ННЭ (диспетчер не справляется с потоком ВС), такая интенсивность ВД считается неприемлемой.

На рис. 3 представлены результаты моделирования управляемого ВД в секторе УВД, представленном на рис. 1. Моделирование проводилось с потоками ВД различной интенсивности на временном интервале длительностью 6 мес.

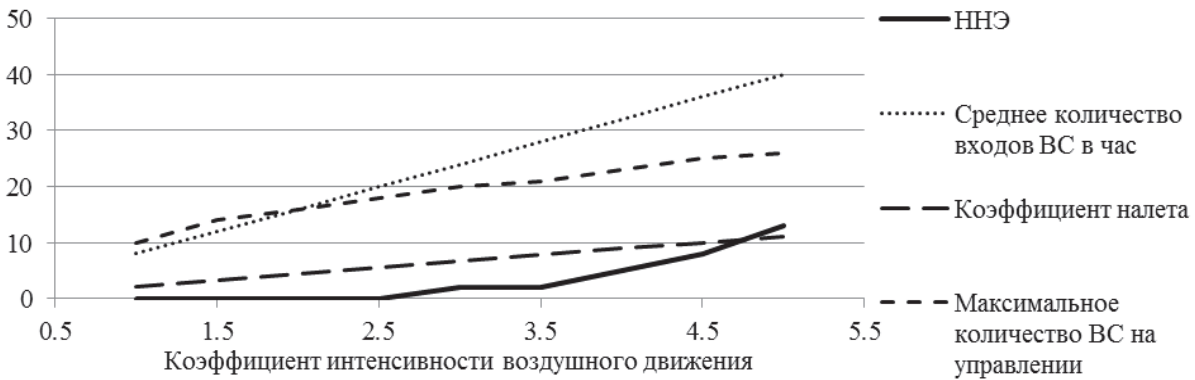


Рис. 3

Коэффициент интенсивности 2,5 является предельным, при котором не фиксируется ННЭ. Коэффициент налета в этом случае составил 5,6, среднее количество входов ВС в сектор – 20 ВС/ч, максимальное количество ВС под управлением ДП – 18. На рис. 4 представлена гистограмма относительной временной загруженности диспетчерской позиции. Превышения предельно допустимого значения 0.7 для загруженности диспетчера не наблюдается. Поэтому тот факт, что диспетчер не справляется с управлением ВД при увеличении интенсивности потока до 3 раз обусловлено не только высокой интенсивностью потока, но и особенностями структуры ВП (пересечение трех трасс в точке 2).



Рис. 4

Определение допустимой наработки на отказ для технических систем. Второй этап исследований заключался в проведении стохастического моделирования с имитацией фактов отказа системы связи или наблюдения в рассматриваемом секторе УВД при интенсивности ВД, увеличенной в 2.5 раза относительно базового потока. Имитировались отказы связи длительностью 10 мин. В течение этого времени фиксировались факты ННЭ между ВС. После каждого отказа производился расчет оценки допустимой вероятности отказа в соответствии с формулами (5) и (6). В соответствии с [3] был выбран уровень $TLS=10^{-6}$ ННЭ на час налета. Также производился расчет границ доверительного интервала этой оценки с вероятностью 0,9.

В случае, если верхняя граница интервала превышала значение допустимой вероятности отказа не более чем 10%, моделирование останавливалось.

На рис. 5 представлен график сходимости границ доверительного интервала и оценки значения допустимой наработки на отказ систем связи и наблюдения. В табл. 2 приведены значения допустимых значений наработки на отказ.

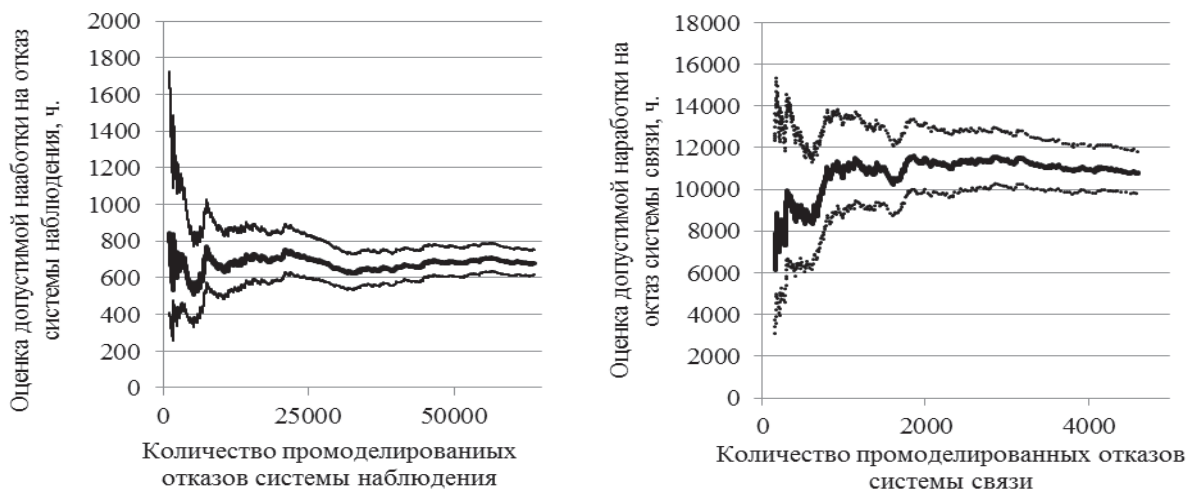


Рис. 5

Допустимая наработка на отказ системы наблюдения значительно меньше, чем для системы связи, поскольку в этом случае не происходит полной потери управления потоком ВС. Однако это требует моделирования значительно большего количества реализаций отказа, поскольку частота возникновения ННЭ в случае отказа системы наблюдения значительно меньше.

Таблица 2

	Количество промоделированных отказов	Оценка допустимой наработки на отказ системы связи, ч	Верхняя граница доверительного интервала, ч	Нижняя граница доверительного интервала, ч
Отказ системы связи	4606	10804	9817	11883
Отказ системы наблюдения	63767	680	614	753

Заключение

В работе рассмотрена задача оценки БП с применением ИМ. Такой подход позволяет получать оценки рисков для БП в перспективных системах ОрВД, связанных с загруженностью ДП, либо выдвинуть требования к надежности технических систем связи и наблюдения, которые бы обеспечили приемлемый уровень БП в этих системах. Для этих целей была реализована имитационная модель, которая позволяет имитировать управляемое ВД с учетом влияния различных факторов, таких как отказы и погрешности в работе технических средств связи и наблюдения. Приведены результаты расчетов для варианта аэронавигационной структуры сектора УВД.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009-2020 годы)»: утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 1 сентября 2008 г. №652.
2. **Обухов Ю.В., Попов А.С., Орлов В.С., Котова А.О.** Применение имитационного моделирования для оценки безопасности полётов // Труды МАИ, №81, 2015.
3. Руководство по системе управления безопасностью полетов при АНО ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», 2014.