



На правах рукописи

УНИЧЕНКО ЕГОР ГРИГОРЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ПОЛЁТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПУТЕМ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ УВД**

Специальность 05.02.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

МОСКВА – 2008

05 ДЕК 2008

Диссертационная работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете Гражданской Авиации

Научный руководитель: Профессор, доктор технических наук
Зубков Б.В.

Официальные оппоненты: Профессор, доктор технических наук
Рубцов В.Д.
кандидат технических наук
Волков А.В.

Ведущая организация: ВНИИ ПАНХ

Защита состоится «11» ДЕКАБРЯ 2008г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.223.011.01 Московского государственного технического университета гражданской авиации по адресу:

ГСП-3, 125993, г. Москва, А-493, Кронштадтский бульвар, 20.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке МГТУ ГА.

Автореферат разослан: «10» ноября 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Заслуженный работник

высшего профессионального образования

профессор, доктор технических наук



С.К. Камзолов

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Постоянный рост интенсивности воздушного движения предполагает необходимость непрерывного совершенствования системы управления воздушным движением (УВД) с целью увеличения пропускной способности элементов УВД при обязательном выполнении требований к уровню безопасности полетов.

Основными факторами, ограничивающими пропускную способность, являются возможности диспетчера-оператора, который в обозримом будущем остается центральным звеном управления воздушным движением.

В этих условиях большое значение имеет организация информационного обеспечения полетов, в частности, качество функционирования и надежность каналов авиационной командной связи, по которым передается речевая информация, достоверность и своевременность доведения которой до экипажей воздушных судов и диспетчеров службы движения непосредственно влияет на достигаемый уровень безопасности полетов.

Особенностью каналов информационного обеспечения авиационной командной связи является то, что качество их функционирования определяется не только техническим состоянием входящих в него радиосредств, но и характеристиками воздействующих электромагнитных помех. Это обусловлено наличием мощных основных и неосновных излучений радиосредств, сосредоточенных на ограниченной территории аэропорта, восприимчивостью радиоприемных устройств к помехам по неосновным и побочным каналам приема, исключить которые полностью принципиально невозможно. Воздействие помех снижает качество функционирования канала, что приводит к необходимости повторных

процедур информационного обмена и, следовательно, снижает пропускную способность зоны УВД.

В настоящее время до 30% каналов авиационной командной связи функционируют в «сложной» электромагнитной обстановке, характеризующейся возможностью нарушения работоспособности канала вследствие воздействия помех.

Характерно, что наиболее эффективный метод повышения надежности – резервирование, по отношению к отказам, обусловленным воздействием помех, неприемлем. Помехой поражается как основное, так и резервное радиосредство.

Несмотря на то, что влияние непреднамеренных помех на качество функционирования каналов авиационной командной связи не вызывает сомнений, при рассмотрении вопросов технической эксплуатации средств связи, отказы, обусловленные их воздействием, до настоящего времени не принимаются во внимание. Это приводит, с одной стороны, к низкой эффективности реализуемых мероприятий, с другой стороны – к тому, что реализуемая пропускная способность зон УВД оказывается ниже теоретически обоснованной, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость снижения интенсивности воздушного движения, либо приводит к снижению уровня безопасности полетов.

Исходя из этого, поставленная в диссертационной работе задача повышения уровня безопасности полетов путем улучшения качества функционирования систем информационного обеспечения управления воздушным движением является актуальной.

Целью диссертационной работы является:

- обоснование критерия качества функционирования каналов информационного обмена командной связи, адекватно отражающего влияние

ненадежности каналообразующего оборудования и воздействия непреднамеренных помех, а также качества информационного обеспечения на эффективность УВД непосредственно при самом управлении;

- разработка моделей взаимосвязи качества функционирования и надежности каналов авиационной связи с пропускной способностью зон УВД;

- разработка требований к показателям надежности авиационной командной связи, обеспечивающих требуемый уровень безопасности полетов;

- разработка методов распределения требований к надежности канала, разделяя их по составляющим требованиям как к надёжности аппаратуры радиоканала, так и надежности по отказам, обусловленным воздействием помех, а также мероприятий, реализующих указанные методы.

Методы исследования.

В диссертационной работе использовались методы исследования, основанные на применении математического аппарата теории вероятностей, математической статистики, теории случайных процессов и теории массового обслуживания.

Научная новизна работы:

1. Предложен критерий качества функционирования канала авиационной командной связи (вероятность переспросов), с единых позиций отражающий влияние на безопасность полетов ненадежности каналообразующей аппаратуры и воздействие непреднамеренных помех.
2. Разработана аналитическая модель взаимосвязи качества функционирования и надежности каналов авиационной командной

связи, функционирующих в сложной электромагнитной обстановке, с пропускной способностью зоны УВД.

3. Разработаны методы обоснования требований к надежности каналов авиационной командной связи, гарантирующих требуемый уровень безопасности полетов. Метод учитывает техническое состояние входящих в канал радиосредств, влияние непреднамеренных помех и сеансный характер вероятных источников взаимных помех.
4. Разработана методика распределения требований к надежности канала по составляющим, соответственно, аппаратурной и обусловленной отказами вследствие воздействия помех.
5. Сформулированы целесообразности применения различных методов функционального и аппаратурного резервирования каналов авиационной командной связи в зависимости от ограничений на коэффициент и время восстановления канала.

Достоверность основных положений и выводов работы.

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается корректным использованием современного математического аппарата, результатами расчетов на ЭВМ, сходимостью результатов в предельных случаях с результатами, опубликованными в отечественной и зарубежной печати.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что разработанные методы и модели позволяют:

- с единых позиций теории надёжности учесть влияние существенного фактора эксплуатации – воздействие непреднамеренных помех, значительно влияющих на уровень безопасности полётов в обслуживаемой зоне ответственности диспетчера УВД, путем введения показателя качества

функционирования каналов информационного обеспечения авиационной командной связи;

- оценить реальную пропускную способность зоны УВД при работе каналов информационного обеспечения авиационной командной связи в сложной электромагнитной обстановке;

- определить количественные требования к показателям надежности каналов, при которых реализуется требуемая пропускная способность зоны УВД в реальных условиях эксплуатации;

- рационально распределять требования к надежности по составляющим как аппаратной надёжности радиоканала, так и надежности канала обусловленной воздействием помех;

- обоснованно применять различные методы функционального и аппаратного резервирования каналов, исходя из ограничения на коэффициент готовности и время восстановления, определяющих заданный уровень безопасности полетов в конкретной зоне УВД.

Апробация работы.

Основные результаты докладывались и обсуждались на:

- Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества»;

- на заседаниях НТС ГосЦентра безопасности полётов на воздушном транспорте;

- на семинарах кафедры «Безопасность полётов и жизнедеятельности»

Структура и объем работы.

Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, общим объемом 131 страницу, список использованных источников, включающий 73 наименования.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы проблема, цель и основные задачи исследования.

В первом разделе диссертационной работы рассмотрена взаимосвязь системы непосредственного УВД с качеством функционирования каналов информационного обеспечения авиационной командной связи.

Комплекс средств авиационной связи является подсистемой системы управления воздушным движением. Воздушное движение характеризуется ярко выраженными динамическими свойствами. Исходя из этого, на эффективность УВД может существенно влиять не только надежность каналообразующей аппаратуры, но и возникающие в каналах информационного обеспечения командной связи задержки сообщений, которые при определенных условиях должны рассматриваться как отказы канала.

В работе проведен анализ структур и условий функционирования сетей авиационной командной связи. Показано, что задержки информации характерны как для наземной, так и для воздушной командной связи.

Основной причиной задержек командных сообщений в каналах воздушной радиосвязи является возникновение «переспросов», обусловленных кратковременными снижениями разборчивости речи на выходе канала вследствие влияния непреднамеренных помех, либо необходимостью перехода на резервный комплект. Требования создания непрерывных во времени и пространстве радиополей при жесткой

регламентации рабочих частот радиосредств комплекса воздушной радиосвязи не позволяет полностью избежать недопустимого влияния помех в комплексе. Это влияние должно учитываться при рассмотрении вопросов эксплуатации РЭС комплекса наряду с процессами старения и износа, приводящими к отказам входящей в каналы аппаратуры.

В работе предложен критерий качества функционирования канала авиационной командной связи, учитывающий оба существенных фактора эксплуатации: воздействие помех и ненадежность каналообразующей аппаратуры. Таким критерием является вероятность переспросов в канале, под которой понимается вероятность застать канал в неработоспособном состоянии в момент обращения, либо вероятность того, что интервал работоспособности окажется меньше длительности сеанса информационного обмена:

$$P_n = P_{отк} + P_{раб} P(t_p < T_{св}),$$

где $P_{раб}$, $P_{отк}$ – соответственно вероятность застать канал в работоспособном и неработоспособном состояниях в произвольный момент времени; t_p – интервал работоспособности; $T_{св}$ – длительность сеанса информационного обмена.

Достоинством предлагаемого критерия является то, что он обладает ясной физической трактовкой, относительно просто может быть получен для конкретных радиоканалов и легко связывается с традиционными критериями надежности.

Задержки в каналах командной связи приводят к снижению пропускной способности зон УВД. Это проявляется, во-первых, в увеличении длительности сеансов информационного обмена и, как следствие, в увеличении загрузки диспетчера по связи. Величина же загрузки диспетчера строго регламентируется, исходя из необходимости обеспечения минимальной вероятности его ошибочных действий. Во-вторых, диспетчер

работает в условиях жестокого дефицита времени. При этом задержки информации могут приводить к ситуациям, когда он не располагает достаточным временным ресурсом для формирования и передачи команд по разрешению потенциально-конфликтных ситуаций (ПКС). Таким образом, задержки информации могут оказывать влияние и на величину вероятности опасных сближений и, как следствие, на риск столкновения воздушных судов, являющийся основным нормируемым показателем уровня безопасности полетов.

Исходя из вышесказанного, в работе сделан вывод о необходимости рассмотрения временных характеристик самих процедур информационного обмена, возникающих в каналах и их влияния на коэффициент загрузки диспетчера и риск столкновения воздушных судов.

С целью определения временных характеристик процедур информационного обмена в работе проведен сравнительный анализ характеристик потоков воздушного движения в зоне УВД и потоков циркулирующей в каналах авиационной командной связи информации. Показано, что тот и другой потоки можно принять пуассоновскими, причем их интенсивности линейно связаны между собой. Распределение длительности сеанса информационного обмена принято экспоненциальным. Приведены зависимости интенсивности потенциально-конфликтных ситуаций от плотности воздушного движения, проведен анализ характеристик длительности ПКС.

Во втором разделе работы рассмотрены характеристики надежности канала командной связи по аппаратурным отказам и отказам, вызванным воздействием помех, которые считаются независимыми.

Приведена взаимосвязь аппаратурной надежности канала с надежностью входящей в канал аппаратуры с учетом резервирования и конечного времени переключения на резерв.

Рассмотрены возможные ситуации, возникающие при воздействии на радиосредства канала недопустимых помех и для каждой из них, с использованием математического аппарата марковских процессов, получены выражения для коэффициента готовности канала и вероятности переспросов в зависимости от характеристик потоков воздействующих помех.

Сформированы модели зависимости риска столкновения воздушных судов и коэффициента загрузки диспетчера по связи от вероятности переспросов.

Указанные модели позволяют при известной вероятности переспросов определить допустимую по критерию безопасности полетов интенсивность воздушного движения в конкретной зоне УВД, т.е. один из основных показателей эффективности непосредственного УВД – пропускную способность зоны, с учетом качества функционирования каналов авиационной командной связи в реальных условиях эксплуатации.

В работе показано, что вероятность опасного сближения, при которой гарантируется нормируемое ИКАО значение риска столкновения (1×10^{-7} /час) может быть определено как $P_{оснорм} = 5 \times 10^{-4} I/W_{пкс}$ $W_{пкс}$ – интенсивность потенциально-конфликтных ситуаций в рассматриваемой зоне УВД.

При возникновении потенциально-конфликтной ситуации, диспетчер располагает некоторым случайным запросом времени с момента от идентификации до развития ПКС в опасное (меньше половины нормы эшелонирования) сближения. При этом существует некоторое случайное время, необходимое диспетчеру для формирования и передачи на борт ВС команд по разрешению ПКС.

Основываясь на том, что переспросы в канале не приводят к изменению числа заявок на связь, а лишь изменяют характеристики

длительности радиообмена, вероятность опасного сближения может быть получена как вероятность того, что суммарные необходимые затраты диспетчера на формирование и передачу команд по уклоняющему маневру окажутся больше имеющегося у него временного ресурса. В работе получены выражения для суммарных за длительность ПКС временных затрат диспетчера, вероятности опасного сближения и риска столкновения ВС в различных зонах УВД в зависимости от интенсивности воздушного движения и вероятности переспросов в канале воздушной командной связи.

Разработанные модели имеют универсальный характер. Принятые при их разработке ограничения не препятствуют увеличению размерности модели, учитывать такие существенные факторы организации воздушного движения как уровень автоматизации УВД и принятую технологию управления (количество диспетчеров, совместно обслуживающих один район ответственности).

В третьем разделе диссертационной работы сформулированы условия обеспечения требуемого уровня безопасности полетов, которые для конкретной зоны УВД имеют вид

$$\begin{cases} K_s \leq 0,36; \\ P_{oc} \leq 5 \times 10^{-4} / W_{пкс}, \end{cases} \quad (1)$$

где:

K_s – коэффициент загрузки диспетчера по радиосвязи;

P_{oc} – вероятность опасного сближения при наличии ПКС;

$W_{пкс}$ – интенсивность потенциально-конфликтных ситуаций в зоне;

Коэффициент 5×10^{-4} отражает заданный риск столкновения 10^{-7} 1/час.

Соответственно, требования к вероятности переспросов, гарантирующие заданный уровень безопасности полетов имеют вид

$$P_n \leq \min (P_n^1; P_n^2) \quad (2)$$

где: P_n^1, P_n^2 значения вероятности переспросов, обеспечивающие выполнение соответственно первого и второго условий (1), которые определяются в соответствии с моделями, приведенными во втором разделе работы.

Учитывая, что канал является высоконадежной системой и вероятность его отказа за длительность сеанса (в среднем 10 сек) пренебрежимо мала, условие (2) по отношению к коэффициенту готовности канала можно записать в виде:

$$K_r \geq \max (K_r^1; K_r^2),$$

$$\text{где: } K_r^1 = 1 - P_n^1; K_r^2 = 1 - P_n^2. \quad (3)$$

Таким образом, условие (3) определяет требования к коэффициенту готовности канала авиационной командной связи, гарантирующие заданный уровень безопасности полетов в конкретной зоне УВД. Приведенные в работе результаты позволяют рассчитать значения требуемого коэффициента готовности для любых зон РЦ УВД, в зависимости от интенсивности воздушного движения в зоне, и для них могут быть сформулированы требования к допустимому, по критерию безопасности, времени восстановления канала информационного обмена авиационной командной связи.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы обоснования требований к надежности радиосредств информационного обеспечения авиационной командной связи. Проанализирован метод расчета требований к надежности канала для автоматизированных систем УВД. Автоматизация сокращает интенсивность обращения диспетчера к радиоканалу, что снижает нагрузку диспетчера.

Для оценки относительного уменьшения интенсивности радиообмена был сформирован перечень параметров, необходимых диспетчеру в процессе

УВД, значения которых могут быть представлены техническими средствами. На основе экспертного анализа были определены весовые коэффициенты параметров этого перечня. Величины коэффициентов снижения интенсивности обмена были определены для систем с наиболее распространенными уровнями автоматизации (система УВД с опознаванием и система типа «Страница»). Для указанных уровней автоматизации определены требования к коэффициенту готовности канала для различных зон УВД и степень достигаемого увеличения интенсивности воздушного движения в случае их использования.

Рассмотрены методы обеспечения требуемой надежности канала, как по аппаратурной составляющей радиоканала, так и по составляющей, обусловленной воздействием помех. Рассмотрены различные методы резервирования в целях обеспечения аппаратурной надежности и приведены рекомендации по использованию различных методов в зависимости от требований ко времени восстановления.

Показана применимость и высокая эффективность использования скользящего резервирования. Сформулированы требования к надежности переключающего устройства к числу резервных радиостанций в зависимости от числа резервируемых каналов. Даны рекомендации по использованию функционального аппаратурного резервирования средств радиосвязи.

Заключение

Проведен анализ условий функционирования каналов авиационной командной связи и показано, что до 30% каналов информационного обмена работают в сложной электромагнитной обстановке, характеризующейся наличием срывов работоспособности канала, обусловленных влиянием непреднамеренных помех. Используемые методы оценки эксплуатационных показателей надёжности не учитывают этого влияния, что не позволяет гарантировать заданный уровень безопасности полетов при номинальных

значениях пропускной способности зоны УВД, либо реальная пропускная способность зоны оказывается значительно ниже расчетного значения.

Обосновано, что для отражения влияния качества функционирования и надежности каналов авиационной командной связи, оценку качества непосредственного УВД целесообразно характеризовать загрузкой диспетчера по каналу информационного обмена и по условной вероятности опасного сближения ВС при наличии потенциально-конфликтной ситуации. В качестве критерия эффективности функционирования канала, отражающего влияние обоих существенных факторов эксплуатации: надежность каналаобразующей аппаратуры и влияние непреднамеренных помех принята вероятность переспросов в канале, имеющая смысл величины обратной коэффиценту оперативной готовности канала за длительность сеанса связи.

Разработаны модели взаимосвязи качества функционирования и надежности каналов авиационной командной связи и пропускной способности зоны УВД: надежности канала и уровня безопасности полетов в зоне позволившие сформулировать обоснованные требования к качеству функционирования и надежности канала, исходя из обеспечения требуемой пропускной способности зоны при гарантированном уровне безопасности полетов с учетом особенностей топологии конкретной зоны и уровней автоматизации УВД.

Разработаны алгоритмы оптимизации сетей авиационной наземной связи с целью минимизации задержки командной информации в сети.

Разработан метод распределения требований к показателям надежности канала по составляющим, соответственно отражающим как аппаратурные отказы радиоканала, так и отказы, обусловленные воздействием электромагнитных помех.

Проведен анализ мероприятий, позволяющих реализовать указанные требования и показаны области их применимости. Показана возможность и высокая эффективность скользящего резервирования как средства обеспечения требуемой аппаратурной надежности канала авиационной командной связи. Сформулированы требования к надежности переключающего устройства и количеству резервных радиостанций в зависимости от числа одновременно резервируемых каналов.

Большинство результатов доведено до инженерных методик, алгоритмов и программ, реализованных на ЭВМ. Полученные в диссертационной работе результаты позволяют обосновать требования к качеству функционирования и надежности каналов авиационной связи, реализующие заданную пропускную способность конкретной зоны УВД и предложить методы их обеспечения.

Список опубликованных статей по теме диссертационной работы

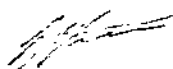
Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации для публикаций материалов диссертационных работ.

1. Униченко Е.Г. Зубков Б.В. «Количественная оценка уровня безопасности полётов в авиапредприятии» Научный вестник МГТУ ГА серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. 2007
2. Униченко Е.Г., Лебедев А.М., Иванов М.П. «Метод расчета предотвращенного ущерба авиационного происшествия // Научный вестник МГТУ ГА серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. 2007, №122

Публикации в прочих изданиях.

3. Униченко Е.Г. «Оценка целевого уровня безопасности полётов и полноты выполнения требований обеспечения безопасности в условиях авиапредприятия» // Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», Москва, 2006
4. Униченко Е.Г. «Безопасность - проблема комплексная» // журнал «Гражданская Авиация», Москва, 2006, №1
5. Униченко Е.Г., Скоркин В.А. «Основные результаты проведенного анализа авиационных происшествий с воздушными судами РФ в горной местности за период 1991-2003 годы». ООО «Полиграф», Москва, труды общества независимых исследователей авиационных происшествий (Выпуск 18)

Составитель



/Униченко Е.Г./

	Подписано в печать 06.11.08 г	
Печать офсетная	Формат 60x84/16	0,93 уч.-изд. л.
1,05 усл.печ.л.	Заказ № 691/10/2	Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2008