

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

На правах рукописи



**ВЛАСОВА АРУСЯ ВИТАЛЬЕВНА**

**МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЛЕТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ  
В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ CNS/ATM**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)

**автореферат диссертации**  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА).

**Научный руководитель:**

Кандидат технических наук, доцент  
Болелов Эдуард Анатольевич,  
зав. кафедрой «Техническая  
эксплуатация радиоэлектронного  
оборудования воздушного транспорта»  
ФГБОУ ВО МГТУ ГА, г. Москва

**Официальные оппоненты:**

Доктор технических наук, профессор,  
заместитель генерального директора по  
научной работе и развитию  
акционерного общества «АЗИМУТ»  
Соломенцев Виктор Владимирович

Кандидат технических наук, начальник  
отдела РТО, ПАО «НПО «Алмаз»  
Спирин Алексей Сергеевич

**Ведущая организация:**

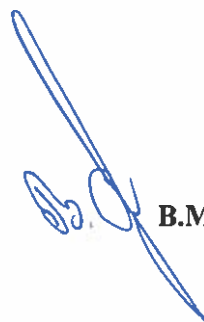
Федеральное государственное  
предприятие Государственный научно-  
исследовательский институт  
гражданской авиации (ФГУП Гос НИИ  
ГА)

Защита состоится «13» мая 2020 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета ДС 223.011.01 на базе ФГБОУ ВО МГТУ ГА по адресу: 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) и на сайте [www.mstuca.ru](http://www.mstuca.ru).

Автореферат разослан «07» марта 2020 г.

Учёный секретарь диссертационного совета  
Д 223.011.01, профессор, доктор технических наук



В.М. Самойленко

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В настоящее время мировая гражданская авиация (ГА) выполняет полеты на основе реализации концепции ИКАО (ICAO – International Civil Aviation Organization - Международная организация гражданской авиации) CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management– связь, навигация, наблюдение/организация воздушного движения), которая сформулировала основные направления развития ГА в мировом масштабе на ближайшие десятилетия. На основе этой концепции в рамках ИКАО были разработаны Глобальный план обеспечения безопасности полетов (ГПБП) и Глобальный аэронавигационный план (ГАНП), в которых основные стратегические направления реализации концепции CNS/ATM конкретизированы в определенные направления развития мировой ГА. В этих документах указано, что наивысшим приоритетом для ГА является обеспечение безопасности полетов (БП). При этом в ГАНП отмечается, что цель состоит в повышении пропускной способности воздушного движения (ВД) и эффективности глобальной системы ГА, в то же время, повышая или, по меньшей мере, поддерживая существующий уровень БП.

Основной задачей ГАНП является внедрение блочной модернизации глобальной авиационной системы. По каждому блоку (всего их четыре) предусматриваются соответствующие мероприятия развития того или иного аспекта деятельности ГА в общем виде. Блочная модернизация ГА рассчитана на долгосрочную перспективу и предусматривает согласование четко определенных целей в области развития авиационного оборудования со сформулированными требованиями к бортовому и наземному радиоэлектронному оборудованию (РЭО), к линиям передачи данных (ЛПД), к системам организации воздушного движения (ОрВД). Эти требования также связаны с постепенным переходом всей мировой ГА на выполнение полетов по правилам навигации, основанной на характеристиках (PBN–Performances Based Navigation).

Центральный момент, на который обращается внимание в ГАНП, заключается в том, что внедрение нового оборудования и новых технологических процедур неизбежно будет влиять на БП. Соответственно возникает необходимость проведения научных исследований, связанных с поддержанием заданного уровня БП при внедрении новых информационных методов и технологий при реализации ГАНП и процедур PBN в РФ. Основополагающую роль при внедрении новых технологий и процедур играет РЭО, располагаемое как на борту воздушного судна (ВС), так и на земле.

С учетом сказанного, актуальным и практически важным является проведение исследований, связанных с оценкой влияния качества функционирования бортового и наземного РЭО на БП при реализации ГАНП с учетом требований PBN.

### **Степень разработанности вопроса.**

Вопросы влияния качества функционирования РЭО на процессы, происходящие во время производства полетов ВС, рассматривались многими исследователями, такими как, Т.Г. Анодина, В.А. Борсоев, Н.С. Вдовиченко, В.В. Воробьев, В.Г. Воробьев, И.М. Грибков, Б.В. Зубков, А.М. Карлов, А.И. Козлов, Г.А. Крыжановский, А.А. Кузнецов, В.Л. Кузнецов, Б.И. Кузьмин, А.И. Логвин, Э.А. Лутин, Е.Е. Нечаев, В.Д. Рубцов, В.В. Соломенцев, В.Б. Спрысков, Е.Г. Униченко, В.А. Ходаковский, и многими другими.

Ряд работ были посвящены рассмотрению возможного влияния качества функционирования РЭО на БП. Однако, в большинстве случаев исследовалась качественная сторона вопроса, т.е. обращалось внимание на тот факт, что разные виды РЭО (радионавигация, радиолокация и т.д.) в силу воздействия помех во время эксплуатации могут ухудшать свои функциональные показатели, определенные соответствующими нормативными документами, например, возможно снижение вероятности правильного обнаружения при наблюдении объектов, увеличение среднеквадратических ошибок определения навигационных параметров и т.д., при этом

делается вывод, что такое ухудшение функциональных показателей неизбежно будет, определенным образом, влиять на БП. Кроме этого, в перечисленных работах практически не рассматривались конкретные показатели, характеризующие БП, и отсутствовали соотношения, связывающие показатели качества функционирования РЭО с показателями, характеризующими БП. В упомянутых работах вообще не использовались такие широко применяемые в настоящее время понятия как опасный фактор (ОФ) и фактор риска (ФР) при рассмотрении вопросов БП. Причем, концепция PBN, являясь одной из основных составляющих реализации ГАНП и ГПБП, оперирует характеристиками, несоблюдение которых, в соответствии с документами ИКАО, может быть основой для возникновения опасных факторов с возможным перерастанием в факторы риска.

Отсюда возникает актуальная задача исследования влияния качества функционирования РЭО на БП и выявления ОФ при производстве полетов ВС, решению которой и посвящена настоящая работа

**Целью работы** является решение научной задачи установления взаимосвязи между показателями, определяющими качество функционирования РЭО, и показателями, характеризующими БП, к которым относятся вероятности возникновения конфликтной и потенциально-конфликтной ситуаций, вероятности опасного сближения, потери эшелонирования и т.д.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определение взаимосвязей между качеством функционирования объектов РЭО и показателями БП в рамках реализации ГАНП;
- разработка моделей загруженности диспетчера УВД при стационарном и усложненном режимах работы;
- установление взаимосвязей между качеством функционирования систем телекоммуникации и пропускной способностью воздушного пространства при соблюдении требований к БП;
- определение взаимосвязей между качеством функционирования систем навигации, наблюдения и показателями БП в целях внедрения гибких систем полета и обеспечения безопасности наземных операций;
- выработка рекомендаций для осуществления мониторинга помеховой обстановки при производстве полетов в рамках реализации концепции PBN.

**Объектами исследования** являются:

- системы обеспечения полета ВС, как элементы организации производства полетов.

**Предметом исследования** являются взаимосвязи между показателями, определяющими качество функционирования РЭО ГА, и показателями, характеризующими БП в рамках реализации концепции CNS/ATM

**Научная новизна работы** состоит в том, что в ней:

- получены аналитические зависимости, устанавливающие взаимосвязь между показателями качества функционирования РЭО и показателями БП в рамках концепции CNS/ATM;
- определены основные ОФ, влияющие на безопасность полетов при эксплуатации объектов радиоэлектронного оборудования, и разработаны предложения по их парированию;
- предложена методика расчета коэффициента загрузки диспетчера управления воздушным движением с учетом качества функционирования объектов РЭО;
- разработаны предложения для совершенствования методики мониторинга помеховой обстановки в зоне полетов в рамках концепции PBN.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что ее результаты могут быть использованы в производственной деятельности:

- методики расчета коэффициента загрузки диспетчера управления воздушным движением с учетом качества функционирования объектов наземного и бортового РЭО;
- предложения для совершенствования методики мониторинга помеховой обстановки в зоне полетов в рамках концепции PBN;
- аналитические выражения, характеризующие взаимосвязь между показателями качества функционирования РЭО и показателями БП с целью повышения эффективности организации производства полетов в условиях воздействия различного вида помех, включая нештатные и чрезвычайные помеховые ситуации (магнитные бури, ионосферные волнения, солнечная активность и т.д.).

**Достоверность научных результатов** основана на:

- сравнении результатов работы с достоверными данными эксплуатации авиационной техники и известными результатами, полученными другими авторами;
- корректном использовании известных теоретических методов анализа систем, вероятностного анализа, математической статистики, теории оценок, методов экспертных оценок;
- использованием статистических данных по реальным объектам ГА;

**Положения, выносимые на защиту:**

- усовершенствованные модели оценки пропускной способности воздушного пространства (ВП) с точки зрения поддержания требуемой безопасности полетов;
- аналитические зависимости взаимосвязей показателей качества функционирования телекоммуникационных систем с показателями, характеризующими БП;
- аналитические зависимости взаимосвязей показателей качества функционирования систем навигации и наблюдения с показателями, характеризующими БП;

- предложения по методике мониторинга помеховой обстановки в зоне полетов в рамках реализации концепции PBN.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе используются методы теории вероятностей, математической статистики, теории помехоустойчивости радиосистем, теории оптимального приема, методы экспертного анализа.

**Апробация результатов исследования.**

**Основные результаты изложены в опубликованных работах.** Список публикаций автора по теме диссертации включает 7 научных трудов, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК (2 по транспорту) при Минобрнауки РФ; 4 публикации в трудах международных и всероссийских конференций.

Основные результаты диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

- международных научно-технических конференциях: Гражданская авиация: XXI век VIII Международная молодежная научная конференция. – Ульяновск 2016; Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» - Беларусь, Могилев 2017; Гражданская авиация: XXI век Материалы X Международной молодежной научной конференции. - Ульяновск 2018; XLIV Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения - 2018» Москва;

- научно-технических семинарах кафедры «Безопасность полетов и жизнедеятельности» (БП и ЖД) МГТУ ГА, проводимых ежегодно в 2016-2019 гг.

**Реализация результатов работы.** Материалы диссертации внедрены:

1. В АО «Бортовые аэронавигационные системы» в ОКР «Витраж» при обосновании и разработке структуры программного обеспечения КСА удаленного видеонаблюдения в интересах УВД;

2. В учебный процесс МГТУ ГА при подготовке специалистов по направлению 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация общим объемом 133 страницы включает: введение, основную часть работы из трех глав, заключение, список сокращений, список литературы из 97 наименований, 2 приложения. Основная часть содержит 20 рисунков и 5 таблиц.

#### **Содержание**

Проводится анализ реализации основных этапов ГАНП в РФ в целях выявления возможностей появления опасных факторов, связанных с качеством функционирования РЭО при производстве полетов ВС. Под понятием опасного фактора можно понимать возникновение таких условий производства полетов ВС, при которых появляется выше приемлемого уровня возможность причинения ущерба лицам и имуществу и требуется принятие соответствующих мер по их устранению. Под понятием фактора риска можно понимать такое состояние производства полетов ВС, когда происходит заметное превышение приемлемого уровня возможности причинения ущерба лицам и имуществу по отношению к значению вероятности выявления опасных факторов.

В ГАНП указаны четыре блока, реализация которых предусмотрена последовательно во времени вплоть до 2028 г.

К ним относятся: 1. Операции в аэропортах. 2. Интероперабельные в глобальном масштабе системы и данные. 3. Оптимальная пропускная способность и гибкая система полетов. 4. Эффективность траектории полетов.

Это показано на Рисунке 1

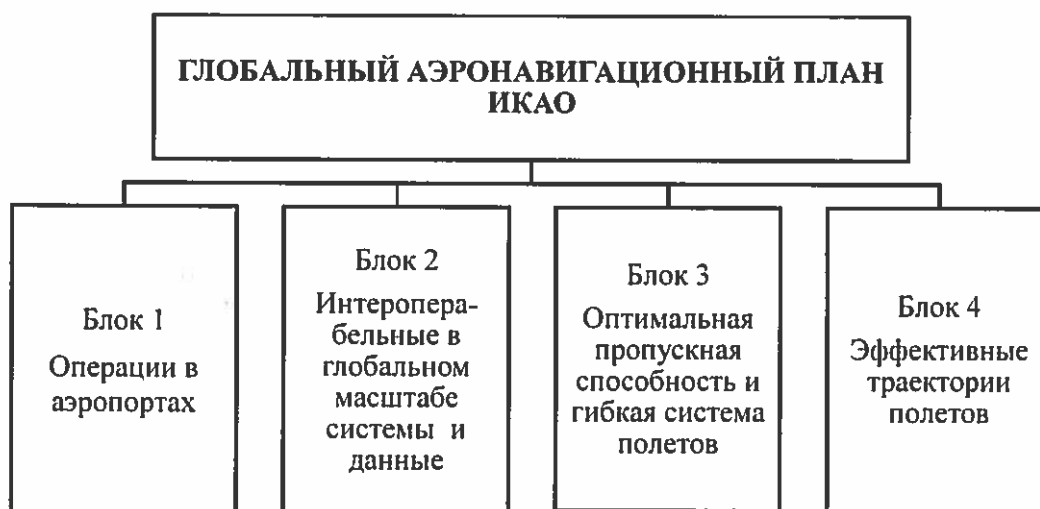


Рисунок 1 Структура Глобального аэронавигационного плана ИКАО на 2013-2028гг.

Каждый блок ГАНП состоит из модулей, например, первый блок содержит 5 модулей, показанных на рисунке 2

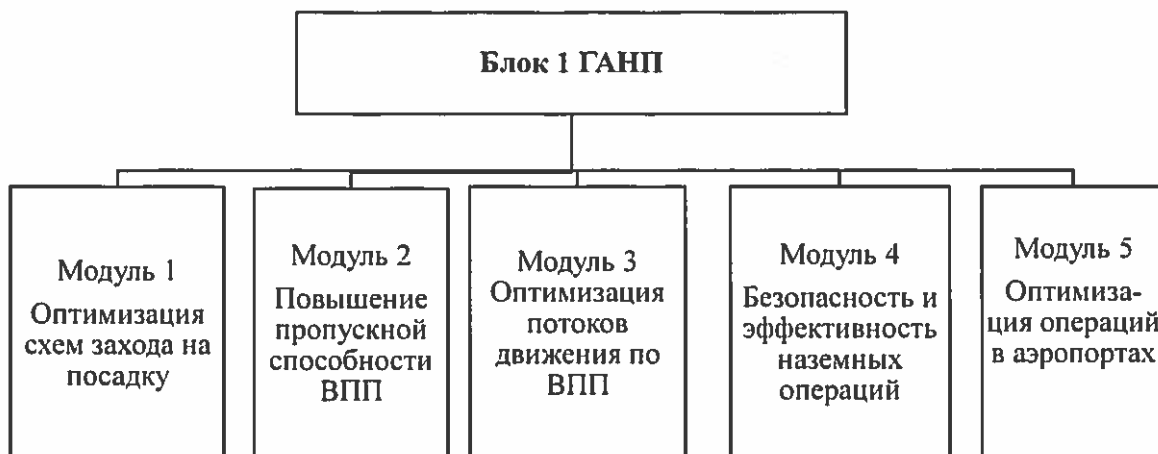


Рисунок 2 Структура блока 1 ГАНП

Общий анализ всех 19 модулей, приведенных в ГАНП, показал, что 16 из них относятся к совершенствованию и модернизации РЭО. Согласно концепции ИКАО CNS/ATM к системам радиооборудования относятся: телекоммуникационные системы, навигационные системы и системы наблюдения. При определенных условиях (например, изменение уровня воздействия помех на данное конкретное РЭО) качество функционирования данного РЭО в определенные моменты времени может не соответствовать нормам летной годности (для бортового РЭО) или сертификационным требованиям (для наземного РЭО). То есть могут возникать ситуации, когда пониженное качество функционирования конкретного РЭО (относительно установленных нормативов) создает условия для возникновения ОФ с возможностью перерастания в ФР. Возникновение мощных помеховых воздействий, связанных с окружающей средой (магнитные бури, повышенная солнечная активность, ионосферные колебания и т.д.) может рассматриваться как производство полетов ВС в условиях воздействия возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций, как и попадания ВС в сложные метеорологические условия. В связи с этим анализ взаимосвязи качества функционирования РЭО с конкретными показателями, характеризующими БП, такими, как вероятность опасного сближения двух ВС Рос, вероятность потери эшелонирования Рэш и другими, представляется крайне важным с точки зрения управления БП.

Качество функционирования телекоммуникационных систем типа «земля-борт-земля» в значительной степени определяет работу диспетчера управления воздушным движением (УВД).

В процессе обмена этой информацией могут возникнуть условия, вызывающие появление недостоверной получаемой информации, что приводит к появлению ОФ. Причины появления недостоверной информации различны, например:

- сбой поступающей информации;
- информация поступила не в то время, когда она ожидалась;
- поступившая информация содержала ошибки, например, в силу различных причин проявилось ухудшение точности определения координат ВС в пространстве или его скоростных характеристик;
- поступившая информация не содержала всего объема тех сведений, которые предполагалось получить.

Поэтому рассматривается оценка загрузки диспетчера УВД, как один из возможных вариантов возникновения ОФ ввиду возможного появления недостоверной получаемой

информации. Это вытекает из того, что одной из главных стратегических задач, решаемых ГАНП, является увеличение пропускной способности ВП, а понятия «временная загрузка диспетчера УВД» и «пропускная способность объекта УВД» являются взаимосвязанными и взаимозависимыми (рисунок 3).

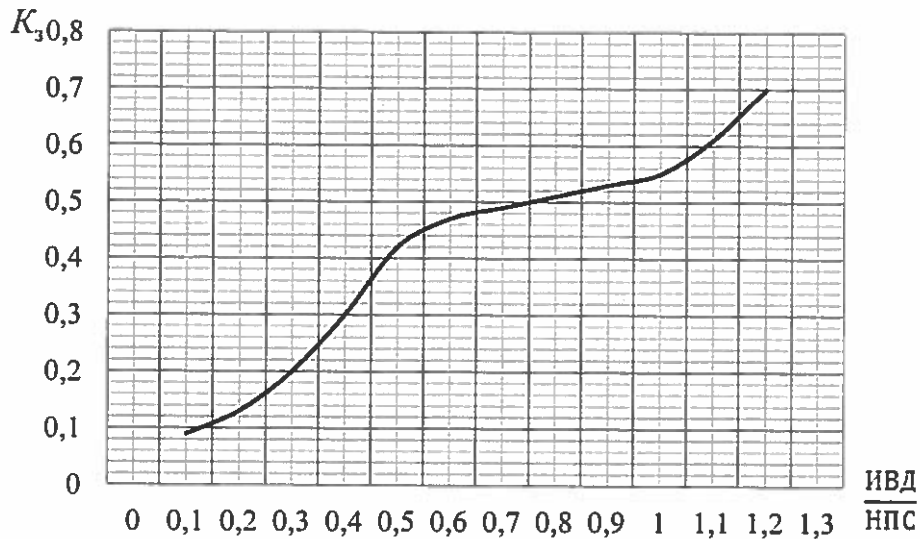


Рисунок 3 Зависимость коэффициента загрузки от интенсивности воздушного движения, отнесенной к нормативному значению пропускной способности

Рассматриваются различные модели загрузки диспетчера УВД с использованием имеющихся статистических данных, анализ которых показал, что основной вклад во временную загрузку диспетчера УВД делает радиообмен между экипажем ВС и диспетчером УВД.

При анализе функционирования канала «земля-борт-земля» были приняты следующие допущения:

1. Поток заявок на связь пуассоновский. 2. Плотность распределения вероятностей длительности сеансов соответствует гамма – распределению. 3. Длительность возможной потенциально-конфликтной ситуации имеет экспоненциальное распределение. 4. Вероятность переспросов в канале связи известна.

В результате анализа была определена плотность распределения вероятностей дополнительных временных затрат за длительность потенциально-конфликтной ситуации (ПКС) и определена вероятность опасного сближения  $P_{ос}$  в зависимости от дополнительных суммарных затрат времени на переспросы и от временного запаса времени на разрешение ПКС.

$$P_{ос} = P\{\tau_{\Sigma} \geq \tau_3\} = \int_0^{\infty} f(\tau_{\Sigma}) \int_0^{\tau_{\Sigma}} f(\tau_3) d\tau_3 d\tau_{\Sigma} = \Phi\left(\frac{m_{\tau_{\Sigma}} - m_3}{\sqrt{\sigma_{\tau}^2 + \sigma_3^2}}\right), \quad (1)$$

где  $\Phi(\cdot)$  - интеграл вероятности Лапласа,  $\tau_{\Sigma}$  - дополнительные временные затраты за время ПКС,  $\tau_3$  - временной запас для разрешения ПКС,  $m_{\tau_{\Sigma}}$ ,  $m_3$ ,  $\sigma_{\tau}$ ,  $\sigma_3$  - соответствующие математические ожидания и среднеквадратические значения.

На рисунке 4 приведены расчетные зависимости риска столкновений  $N_{ст}$  на один час полета в зависимости от интенсивности воздушного движения  $\lambda$  при различных

значениях вероятности переспроса  $P_n$ . График построен в логарифмическом масштабе и поэтому отчетливо видно, что зависимость риска столкновений существенно зависит от вероятности возникновения переспросов.

Интенсивность радиообмена экспоненциально связана с интенсивностью ВД, что учтено в соотношении для зависимости  $K_3$  от вероятности переспроса  $P_n$ :

$$K_3 = \alpha \lambda^2 \tau_{cp}^2 \tau_{св0} \left( 1 + \frac{\mu_m \left( 1 - \exp \left( -\frac{\lambda}{\lambda_m} \right) \right)}{\chi} \right) \left( \frac{1}{1 - P_n} \right) + \left( 1 - \frac{1}{\chi} \alpha \lambda^2 \tau_{cp}^2 \right) \left( \alpha_0 \lambda \tau_{св0} \left( \frac{1}{1 - P_n} \right) \right). \quad (2)$$

где  $\alpha$  – эмпирический коэффициент, определяемый конкретно для данной зоны УВД;

$\tau_{cp}$  – среднее время нахождения ВС в зоне УВД;

$\tau_{св0}$  – затраты времени на один сеанс связи;

$\chi$  – параметр, характеризующий среднюю длительность ПКС;

$\lambda$  – интенсивность воздушного движения (ИВД);

$\lambda_m$  – максимально возможная ИВД;

$\mu_m$  – максимально возможная для данного канала связи интенсивность радиообмена;

$P_n$  – вероятность переспросов;

$K_3$  – коэффициент загрузки диспетчера

На рисунке 5 показана зависимость коэффициента загрузки диспетчера УВД  $K_3$  от интенсивности воздушного движения (ИВД)  $\lambda$  при разных значениях  $P_n$ , из которого следует, что при ИВД, равной 15 ВС/ч изменения  $P_n$  от 0 до 0,3 увеличивает  $K_3$  в 1,5 раза, что негативно влияет на уровень БП и может быть основанием к появлению ОФ, возможно переходящего в ФР. Отметим, что превышение  $K_3$  значения 0,55 есть появление ОФ, а превышение  $K_3$  значения 0,7 – есть ФР.

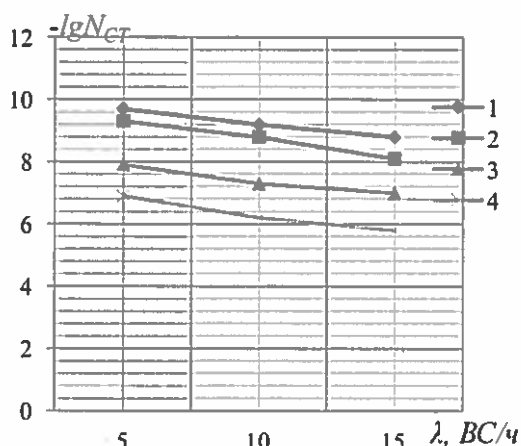


Рисунок 4 Зависимость риска столкновений ВС от интенсивности ВД.  
1.  $P_n = 0$ ; 2.  $P_n = 0,1$ ; 3.  $P_n = 0,2$ ;  
4.  $P_n = 0,3$ .

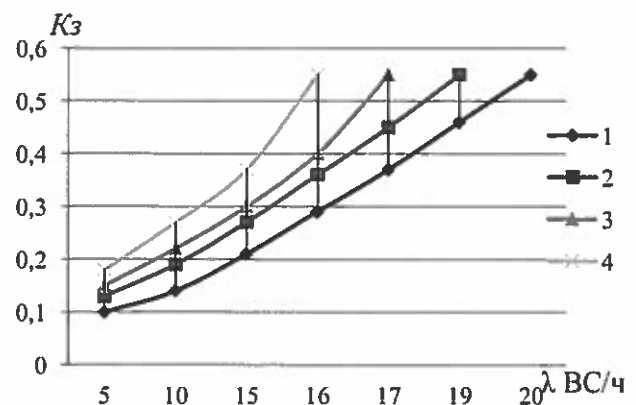


Рисунок 5 Зависимость коэффициента загрузки диспетчера УВД от ИВД при различных значениях вероятности переспроса  
1.  $P_n = 0$ ; 2.  $P_n = 0,1$ ; 3.  $P_n = 0,2$ ;  
4.  $P_n = 0,3$

Возникновение повышенного уровня шумов и помех в радионавигационном канале увеличивает среднеквадратическую ошибку определения навигационных координат ВС по отношению к нормативным значениям. Также увеличение ошибки может привести к потере установленного планового эшелона полета с вероятностью  $P_{эш}$ , что приводит к появлению ОФ при движении двух ВС, если они находятся на соседних маршрутах (вертикальных или горизонтальных) и может при дальнейшем развитии ситуации перерасти в ФР. Другими словами, наличие помеховых воздействий может вызвать следующую цепочку событий: потеря эшелонирования, возникновение ПКС, переход в конфликтную ситуацию (КС), опасное сближение (ОС), риск столкновения. Эту цепочку событий можно трактовать как снижение организационно-технологической надежности производственного процесса, каковым является производство полета ВС.

Сегодня вся мировая ГА переходит к полетам по правилам навигации, основанной на характеристиках (PBN), когда общие навигационные требования определяются на основе эксплуатационных требований. К этим навигационным характеристикам относятся:

1. Точность; 2. Готовность; 3. Непрерывность; 4. Целостность; 5. Функциональные возможности; 6. Эксплуатационные характеристики.

Другими словами, для каждого конкретного элемента ВП должны быть заданы те значения характеристик навигации, не соблюдение которых могут привести к появлению ОФ т.е. вызвать КС, а не парирование этих ошибок может привести к появлению ФР, т.е. вызвать опасное сближение. Самое важное в этом подходе заключается в том, что уход от значений любой указанной характеристики навигации от нормативного значения рассматривается как создание условий для появления ОФ. Очевидно, что воздействие помех может самым существенным образом влиять на первые 4 навигационные характеристики с точки зрения их ухода от нормативных значений.

Для определения вероятностей столкновения ВС в тех или иных ситуациях используют различные модели. Рассматривается модель, когда планами полетов ВС предусматривается «пересечение» трасс и имеются у обоих ВС случайные независимые боковые и продольные отклонения, что показано на рисунке 6. Требуется определить условия, при которых указанное пересечение движения двух ВС может вызвать появление ОФ.

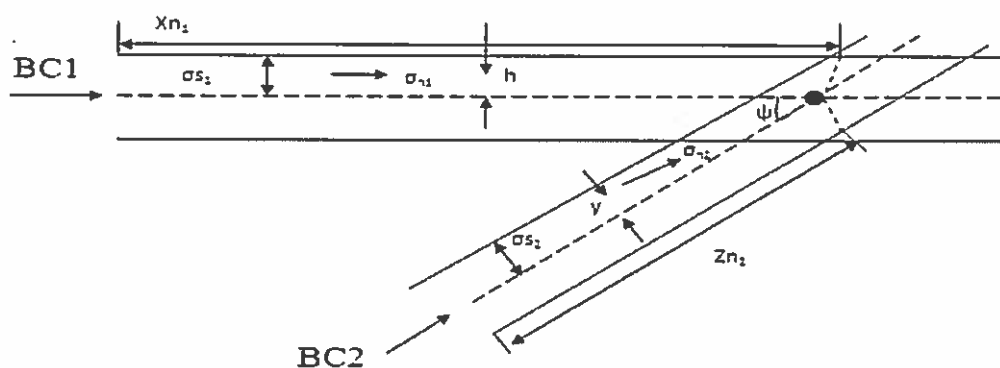


Рисунок 6 Модель пересечения трасс двух ВС на одном высотном эшелоне

Принимается предположение, что плотности распределения вероятностей местоположения каждого из ВС подчиняются нормальному распределению. Полагая, что одно из ВС находится в границах элементарного сегмента  $\Delta S_j$ , а второе ВС одновременно

находится в границах элементарного сегмента  $\Delta S_i$  и в области  $S_i$ , где  $S_i$  задается окружностью  $L$  – километровой радиуса с центром, совпадающим с центром сегмента  $\Delta S_i$ , то вероятность опасного сближения  $P_{ос}$  будет определяться как возможное пересечение области  $S_i$  и сегмента  $\Delta S_j$ . Это показано на рисунке 7.

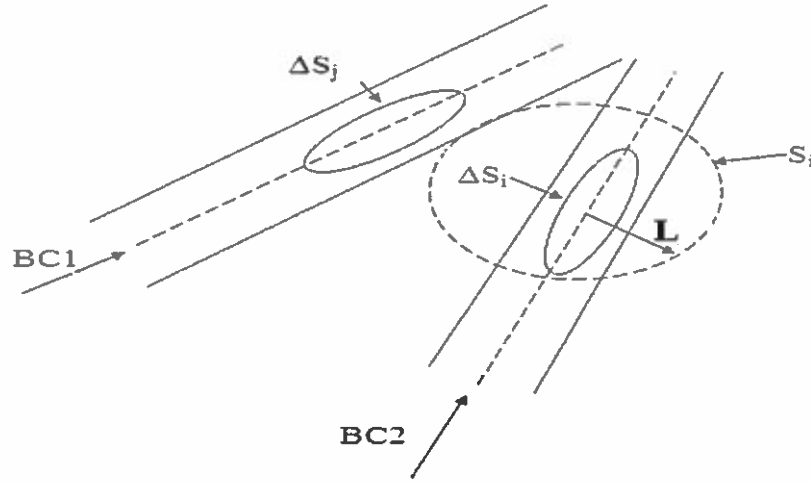


Рисунок 7 Модель возникновения опасного сближения при пересечении трасс двух ВС, следующих на одном высотном эшелоне

В данном случае возникновение опасного сближения будет связано с моментом времени, когда образуется пересечение полного эллипса рассеивания вероятностей местоположений BC1 и дугой окружности  $L$  – километровой радиуса, центр которой принадлежит полному эллипсу рассеивания вероятностей местоположения BC2.

Это можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{(x - x_{n_1} - m_{v_1}t)^2}{g\sigma_{n_1}^2(t)} + \frac{h^2}{g\sigma_{S_1}^2(t)} = 1, \\ \frac{(z - z_{n_2} - m_{v_2}t)^2}{g\sigma_{n_2}^2(t)} + \frac{y^2}{g\sigma_{S_2}^2(t)} = 1, \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{где } (z_0, y_0) \in \frac{(z - z_{n_2} - m_{v_2}t)^2}{g\sigma_{n_2}^2(t)} + \frac{y^2}{g\sigma_{S_2}^2(t)} = 1,$$

$\sigma_{S_1}(t)$  и  $\sigma_{S_2}(t)$  – среднеквадратические отклонения местоположения ВС в боковом направлении;

$\sigma_{n_1}$  и  $\sigma_{n_2}$  – среднеквадратические отклонения местоположения ВС в продольном направлении;

$m_{v_1}$  и  $m_{v_2}$  – математические ожидания скоростей движения ВС;

$x_{n_1}$  и  $z_{n_2}$  – начальные удаления ВС от точки пересечения трасс;

$h$  и  $y$  – математические ожидания бокового отклонения ВС от середины их воздушных коридоров;

$S_1$  и  $S_2$  – соответствующие области интегрирования;

$g$  – некоторое постоянное число, определяющее соответствующие границы.

В результате получается система уравнений, которая при определенном значении координаты  $X=X_{\min}$  имеет единственное решение, т.е. определится значение времени  $t$ , при котором опасное сближение неизбежно. Но в данном случае необходима противоположная ситуация, т.е. следует избежать опасного сближения и система уравнений не должна иметь решения, для чего выбирается выполнение условия  $X > X_{\min}$ . При выборе такого условия получившаяся система уравнений не имеет решения и опасного сближения двух ВС не происходит. Все эти данные могут быть заложены заранее в соответствующее навигационное оборудование и интерпретироваться как метод устранения риска при сложных ситуациях, возникающих при производстве полетов ВС, например, при пересечении трасс или в схожих ситуациях.

В рамках рассмотрения вопросов возникновения опасных факторов в системах наблюдения исследовались особенности использования радиолокаторов обзора летного поля (РОЛП). РОЛП играют очень важную роль по обеспечению БП в зоне наземного контроля аэродрома, т.е. в зоне рулежных дорожек, стартовой зоне и т.д. Работая в миллиметровом диапазоне длин волн, РОЛП обеспечивают достаточно высокую разрешающую способность и позволяют видеть все объекты в зоне наблюдения с необходимой точностью. Однако работа РОЛП в миллиметровом диапазоне одновременно вызывает и определенные трудности при его использовании. Наиболее сложная помеховая обстановка возникает на входе приемных устройств РОЛП из-за воздействия мешающих отражений от гидрометеоров (туман, град, дожди различной интенсивности, снегопад и т.д.). Из-за воздействия гидрометеоров значение вероятности правильного обнаружения  $R_{\text{по}}$  может изменяться от номинального в пределах от 1.1 до 1.7 раз, т.е. РОЛП теряет свои функциональные возможности и это может расцениваться как появление ОФ. Разница в отношении сигнал/шум для получения одинакового значения  $R_{\text{по}}$  составляет от 1.9 дБ до 3.8 дБ. Полное отсутствие видимости со стороны РОЛП требует внимание к этому явлению как к управлению ФР.

Таким образом, работа РОЛП в условиях сильных метеовоздействий является ОФ при выполнении наземных операций в аэропортах, а разрешение конфликтных ситуаций на Земле с помощью РОЛП, в условиях метеовоздействий, становится ФР. Соответственно, появляется проблема определения помеховой структуры, в рамках которой функционирует РОЛП. Определение вида и интенсивности гидрометеоров может позволить излучать такую радиоволну (РВ), которая при ее эллиптической ориентации поляризации практически будет не уязвима для мешающих воздействий.

Величину  $Q$ , для отношения сигнала, принятого от симметричной цели к сигналу, принятому от несимметричной цели, определим следующим выражением:

$$Q = \frac{1}{\left( \frac{1+r_3}{(1-r_3)^2} - \sin 2\beta \right)^2}. \quad (4)$$

где,  $r_3$  – коэффициент эллиптичности принимаемой РВ;  $\beta$  – угол ориентации плоскости поляризации принимаемой РВ в выбранной системе координат.

По данным соотношения (4) построен рисунок 8., а используя рисунок 8 и данные, приведенные в таблице 1, построен рисунок 9, где проиллюстрирована зависимость уровня подавления отраженного сигнала от гидрометеоров от интенсивности дождя.

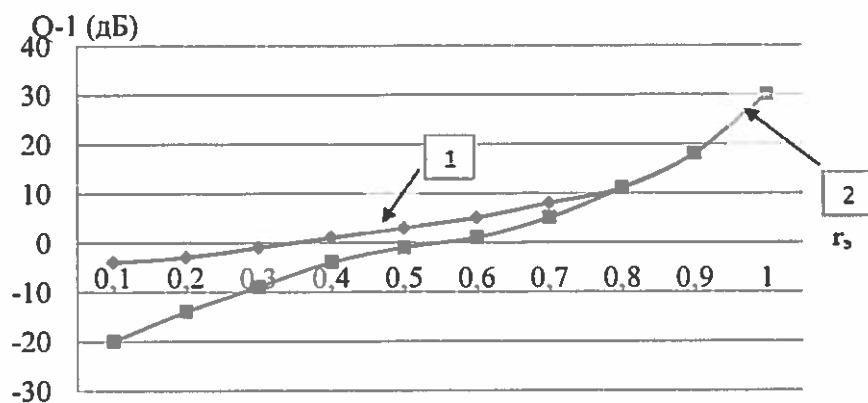


Рисунок 8 Зависимость степени подавления сигнала, отраженного от гидрометеоров, от поляризационных параметров РВ,  
1.  $\beta=0^\circ$  ; 2.  $\beta = 15^\circ$

Классификация дождей

Таблица 1

| Класс дождя | Интенсивность, мм/ч | Диаметр капель, см | Плотность г/м | $r_3$ |
|-------------|---------------------|--------------------|---------------|-------|
| Сильный     | 15                  | 0,15               | 1,85          | 0,885 |
| Умеренный   | 4                   | 0,10               | 0,83          | 0,935 |
| Слабый      | 1                   | 0,045              | 0,28          | 0,985 |

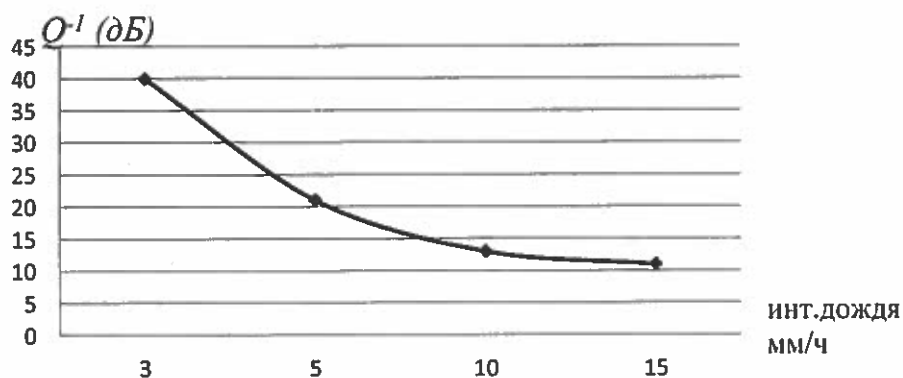


Рисунок 9 Зависимость степени подавления сигнала, отраженного от гидрометеоров, от интенсивности дождя

Измеряя поляризационные параметры отраженной РВ  $r_z$  и  $\beta_n$ , можно определить вид и интенсивность метеообразований, чем существенно изменить степень влияния возможного ОФ.

Проведенный анализ примеров функционального применения всех трех составляющих РЭО в рамках реализации концепции CNS/ATM, т.е. систем телекоммуникации, навигации и наблюдения, показал, что с точки зрения решения задач обеспечения БП во всех системах возможен единый подход.

В рамках реализации концепции PBN выделяются соответствующие характеристики, уход значений которых от установленных нормативов, является основанием считать возникновение ОФ. Указанные нарушения характеристик во всех системах РЭО связано с вопросами воздействия помех и шумов на соответствующие устройства. Таким образом, основным вопросом оценки влияния качества функционирования РЭС на управление БП является оценка помеховой обстановки, в которой функционирует конкретная радиосистема. Отсюда необходимо рассматривать возможности прогнозирования и оценки помеховой обстановки в каждом конкретном канале передачи информации, т.е. необходим постоянный мониторинг состояния канала передачи соответствующей информации и далее результаты мониторинга либо используются для принятия соответствующих решений при фиксации факта ухудшения помеховой обстановки, либо принимаются решения об изменении уровня влияния помеховой обстановки.

При проведении указанного мониторинга на первом этапе анализа составляется карта помех, которая отражает возможность попадания сигналов от других источников излучения в полосу пропускания действующего приемника. На этом этапе не проводится оценка возможности подавления или искажения полезного сигнала, а выясняются возможные источники негативных воздействий. На втором этапе анализа следует уже учитывать мощности воздействующих помеховых сигналов, время их возникновения, источники их появления (имеется в виду место расположения) и другие необходимые сведения. При этом особо обратим внимание, что при решении поставленной задачи не требуется точного решения этой задачи с указанием конкретных цифр. Здесь вполне можно ограничиться некоторыми интервальными оценками, которые укажут на то, есть или нет основания для выявления ОФ.

Окончательно, возможны два подхода для оценки помеховой обстановки, а именно:

- предварительный аналитический анализ возможной помеховой ситуации при производстве полетов и в соответствии с этим анализом составление помеховой карты;
- проведения статистической аттестации качества функционирования канала передачи информации в реальном масштабе времени на предмет выявления ОФ, т.е. проведение мониторинга реальной помеховой обстановки в реальном масштабе времени.

Выявление опасных факторов в РЭО может выполняться в рамках единого подхода как к системам навигации и телекоммуникации, так и к системам наблюдения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось решение научной задачи установления взаимосвязи между показателями, определяющими качество функционирования РЭО, и показателями, характеризующими БП, к которым относятся вероятности возникновения конфликтной и потенциально-конфликтной ситуаций, вероятности опасного сближения и потери эшелонирования и т.д. для выявления ОФ и ФР.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- установлены взаимосвязи между качеством функционирования отдельных объектов РЭО и показателями БП в рамках реализации ГАНП;

- разработаны модернизированные модели загруженности диспетчера УВД при стационарном и усложненном режимах работы;
- установлены взаимосвязи между качеством функционирования систем телекоммуникации и пропускной способностью воздушного пространства при соблюдении требований к БП;
- определены взаимосвязи между качеством функционирования систем навигации, наблюдения и показателями БП в целях внедрения гибких систем полета и обеспечения безопасности наземных операций;
- разработаны рекомендации для осуществления мониторинга помеховой обстановки при осуществлении полетов в рамках реализации концепции PBN.

В результате проведенных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Установлены основные ОФ, проявляющие себя при эксплуатации бортового и наземного РЭО, влияющие на БП.
2. Проанализированы основные направления блочной модернизации ГА в рамках ГАНП и ГПБП и рассмотрена роль РЭО при ее реализации.
3. Показана качественная и в отдельных случаях количественная взаимосвязь показателей уровня функционирования РЭО с БП.
4. Проанализированы общие подходы к решению задачи оценки влияния качества функционирования РЭО на БП.
5. Рассмотрена загрузка диспетчера УВД в количественном выражении, как один из возможных и очень значимых ОФ для БП.
6. Проведена количественная оценка влияния качества функционирования телекоммуникационных систем типа «земля-борт-земля» на БП.
7. Рассмотрены общие подходы к решению задачи выявления ОФ и ФР при наличии ошибок определения характеристик навигации при PBN.
8. Рассмотрены возможности использования РОЛП для обеспечения БП при перемещении ВС и транспортных средств по территории аэродрома.
9. Описан метод проведения анализа оценки помеховой обстановки в зоне действия конкретного РЭО с целью предотвращения возникновения ОФ.

Полученные результаты позволили сформулировать следующие выводы:

1. Внедрение новых процедур и нового оборудования в рамках реализации ГАНП в РФ, направленное, в конечном счете, на повышение БП, тем не менее, не учитывает влияние помеховой обстановки в зоне внедрения на эффективность работы этого оборудования и эффективность работы диспетчера УВД, что в итоге может не только не увеличить БП, но даже привести к его снижению. В связи с этим возникает задача рассмотрения непосредственного влияния помеховой обстановки на состояние БП. При этом особое внимание необходимо уделять воздействию помех на конкретные виды РЭО, так как технически исправное РЭО при воздействии определенных видов помех попадает в такие условия функционирования, когда уровень качества функционирования нужно рассматривать как появление ОФ. Дальнейшее ухудшение качества функционирования вплоть до возможного отказа следует воспринимать как появление ФР, что требует принятия соответствующих мер по управлению этим ФР.
2. Основной характеристикой работы диспетчера является коэффициент загрузки. Количественный анализ рассмотрения моделей загрузки диспетчера УВД показал, что основное время затрат составляет радиообмен между диспетчером УВД и экипажем ВС.

Длительность сеансов связи с высокой степенью вероятности подчиняется гамма-распределению, при этом основной причиной возможного возникновения перегрузки диспетчера УВД является возникновение переспросов в радиолинии «земля-борт-земля». Само возникновение переспросов обусловлено помеховой обстановкой на линии радиообмена. Изменение вероятности переспросов от  $P_n = 0$  до  $P_n = 0,3$  увеличивает

уровень загрузки диспетчера УВД в 1,5 раза, что может служить основанием для возникновения ОФ, переходящего в ФР.

3. Наличие интенсивных помех, особенно опасно проявляет себя в режимах подхода и захода ВС на посадку. Так, например, ошибка в определении навигационных характеристик ВС вследствие воздействия помех может привести к уходу ВС от планируемой траектории полета, что может повлечь за собой возникновения ОФ.

4. Для каждой конкретной зоны выполнения полетов с PBN должны быть заданы значения предельных ошибок местоопределения ВС в пространстве, превышения которых может привести к появлению ФР, которым в данном случае могут быть либо вероятность опасного сближения двух ВС, либо вероятность потери заданного эшелонирования.

5. Применение РОЛП в качестве системы наблюдения наземного движения в аэропортах будет эффективным только в том случае, если будет обеспечена возможность выполнения достаточно полного метеорологического анализа обстановки, в которой эта структура функционирует. В противном случае информация, поступающая (или непоступающая) от РОЛП, может представлять собой ОФ, при определенных условиях, переходящий в фактор риска, при выполнении процедур маневрирования ВС и транспортных средств в зоне аэродрома.

6. При функционировании любого РЭО качество его работы определяется помеховой обстановкой, в которой оно находится. Изменение состояния помеховой обстановки может представлять собой возникновение ОФ, который при определенных условиях может перерасти в ФР. Для устранения указанных факторов (или снижения их до приемлемого уровня) необходимо выполнять постоянный мониторинг помеховой обстановки в каждой конкретной зоне PBN (составлять карты помех в пространстве и во времени) на соответствие имеющихся характеристик требуемым и при несоответствии принимать меры по устранению этого несоответствия.

7. Необходимо уделять внимание на поддержание навигационных характеристик зон PBN в требуемых границах, т.к. из требуемых навигационных характеристик вытекают соответствующие требуемые характеристики систем наблюдения и телекоммуникации. Все это требует дальнейшей разработки специальных моделей описания производства полетов ВС в соответствующих зонах PBN.

#### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

**В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ (по транспорту):**

1. Власова А.В. Коэффициент загрузки диспетчера УВД как показатель уровня управления безопасностью полетов. // Научный вестник Гос НИИ ГА. - 2018. – N 22. - С. 102-108.

2. Власова А.В., Воробьев В.В. Роль радиоэлектронного оборудования в управлении безопасностью полетов при реализации глобального аэронавигационного плана ИКАО // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2017. – N 4. - С. 156-161.

**В других рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Власова А.В. Эффективность использования авиационных телекоммуникационных систем при обеспечении безопасности полетов // Автоматизация процессов управления N 1 (51). - Ульяновск: Научно-производственное объединение "Марс", 2018. - С. 20-24.

**Результаты работы опубликованы также в изданиях:**

1. Власова А.В. Радиоэлектронное оборудование гражданской авиации как компонент управления безопасностью полетов // Новые материалы, оборудование, и технологии в промышленности. Международная научно - техническая конференция молодых ученых. - Могилев: 2017. - С. 228.

2. Власова А.В. Сравнительный анализ моделей загруженности диспетчера управления воздушным движением // Гражданская авиация XXI век. - Ульяновск: 2018. - С. 120-121.

3. Власова А.В. Статистические характеристики радиообмена диспетчера управления воздушным движением и экипажа воздушного судна // Гагаринские чтения-2018. Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодежной научной конференции. - М.: 2018. - С. 11-12.

4. Власова А.В., Стратиенко А.Н. Исследование метода контроля вертикального эшелонирования // Гражданская авиация: XXI век Материалы VIII Международной молодежной научной конференции. - Ульяновск: 2016. - С. 63-65.

Соискатель :



Власова А.В.