

На правах рукописи



РУБЦОВ Евгений Андреевич

**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ**

**05.22.13 - Навигация и управление воздушным движением
(технические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

Работа выполнена на кафедре радиоэлектронных систем Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации.

Научный
руководитель **СОБОЛЕВ Евгений Владимирович**
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектронных систем Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, почетный работник транспорта

Официальные
оппоненты **ПЛЯСОВСКИХ Александр Петрович**
доктор технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры (ОАО «ВНИИРА»)

ПОДДУБНЫЙ Сергей Сергеевич
кандидат технических наук, доцент, доцент института радиотехники, электроники и связи Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

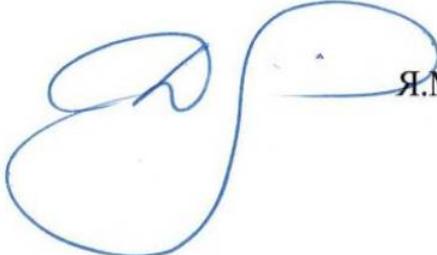
Ведущая
организация **ОАО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»**, г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «11» июня 2015 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 223.012.01 на базе Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации по адресу: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38, ауд. 334.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте <http://spbguga.ru/530-ob-yavleniya-o-zashchite-dissertatsij>

Автореферат разослан «__» апреля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Я.М. Далингер

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Создание укрупненных центров единой системы организации воздушного движения (ОрВД), а также внедрение новых радиотехнических средств (РТС) навигации, наблюдения и связи, приводит к существенным изменениям в структуре ОрВД. Цели и задачи этих изменений отражены в Концепции создания и развития Аэронавигационной системы России, а также в федеральной целевой программе «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009-2020 годы)».

Изменения, в целом, направлены на оптимизацию структуры воздушного пространства и модернизацию РТС навигации, наблюдения и связи, потому особую важность приобретает задача оценки безопасности полетов при заданной (существующей или перспективной) инфраструктуре средств радиотехнического обеспечения полетов (РТОП).

В настоящее время в Российской Федерации основными средствами РТОП являются: навигационные маяки VOR и DME, обзорные радиолокаторы и системы радиосвязи ОБЧ диапазона. Безопасность полетов оценивается с помощью ряда критериев, к которым относятся: вероятность выхода ВС за пределы трассы, вероятность нарушения норм эшелонирования, а также условие полного перекрытия воздушных трасс региона радионавигационными, радиолокационными и радиосвязными полями. Перечисленные критерии определяются эксплуатационными характеристиками (ЭХ) средств РТОП: зоной действия и рабочей областью, а также зоной конфликтных ситуаций. Определенные для совокупности РТС, распределенных по региону, эксплуатационные характеристики являются интегральными.

Объектом исследования являются средства радиотехнического обеспечения полетов, а также их эксплуатационно-технические характеристики.

Предметом исследования являются методы расчета эксплуатационных характеристик средств РТОП для целей оценки уровня безопасности полетов.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является разработка и реализация методов расчета эксплуатационных характеристик средств радиотехнического обеспечения полетов, и оценка, с их помощью, безопасности полетов в выбранном регионе. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Разработка алгоритма двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП, предполагающего расчет зон действий и рабочих областей РТС навигации, наблюдения и связи, и определение степени перекрытия ими воздушных трасс.

2. Разработка методики расчета зон конфликтных ситуаций, в которой учитываются погрешности определения координат ВС.

3. Разработка комплекса компьютерных программ по расчету ЭХ средств РТОП.

4. Расчет ЭХ средств РТОП в Санкт-Петербургском центре ОВД с использованием разработанных компьютерных программ.

Методы исследований. При решении перечисленных задач были использованы методы математического анализа, теории вероятностей и теории случайных процессов, а также методы имитационного моделирования.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан алгоритм двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП, в котором реализован единый подход в расчете ЭХ (зоны действия и рабочей области) для основных РТС навигации, наблюдения и связи.

2. Введено понятие рабочей области РТС связи ОВЧ диапазона. Таким образом, определяется не только область устойчивого радиообмена, но и область, в пределах которой обеспечивается требуемое качество связи; реализуется принцип единого подхода в расчете ЭХ. Разработана методика расчета рабочей области РТС связи ОВЧ диапазона.

3. Разработана новая вероятностная модель конфликтной ситуации, позволяющая учесть погрешности определения координат ВС. При этом используется не применявшийся ранее составной закон распределения, позволяющий достоверно оценивать вероятность возникновения редких событий.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Алгоритм двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП, в котором реализован единый подход в расчете ЭХ РТС навигации, наблюдения и связи.

2. Методика расчета зон конфликтных ситуаций, в которой учитываются погрешности определения координат ВС и используется не применявшийся ранее составной закон распределения.

3. Результаты расчета ЭХ средств РТОП в Санкт-Петербургском центре ОВД.

Практическая значимость работы. Разработанное программное обеспечение внедрено в Санкт-Петербургском центре ОВД и использовалось для определения степени перекрытия региона зонами действия РТС связи ОВЧ диапазона, а также зонами действия радионавигационных маяков-дальномеров, предназначенных для обеспечения высокоточной навигации в районе аэродрома Пулково. Комплекс компьютерных программ по расчету ЭХ средств РТОП также используется в учебном процессе на кафедре Радиоэлектронных систем Санкт-Петербургского университета гражданской авиации.

Апробация результатов. Материалы диссертации докладывались на региональной конференции «Школа радиоэлектроники» (Санкт-Петербург, ЛЭТИ, 2010г.); на Международной молодежной научной конференции «XXXVII Гагаринские чтения» (Москва, Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2011г.); на XLIII, XLIV и XLV научно-практических конференциях аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти И.И. Сикорского (Санкт-Петербург, 2011, 2012, 2013гг.); XXIII всероссийской научно-технической конференции школы-семинара

«Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах» (Сочи, 2012г.); на III международной научно-практической конференции «Человек и транспорт» (Санкт-Петербург, 2014г.).

Публикации результатов. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них 6 в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК изданий.

Структура и объем работы. Диссертация содержит: введение, 4 главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы, включающий 96 источников, а также 4 приложения, представленных в отдельном томе. Диссертация изложена на 167 страницах, включает 73 рисунка, 46 таблиц. Приложения включают 59 страниц из них 30 страниц распечаток используемых в работе программ, а также 24 рисунка и 15 таблиц.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи, показана практическая значимость результатов исследования, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ научных работ, посвященных оценке безопасности полетов, проанализированы применяемые в данных работах методики. В основе этих методик лежит оценка некоторого критерия безопасности полетов, в качестве которого может выступать: риск столкновения ВС, вероятность выхода ВС за пределы трассы, а также вероятность нарушения норм эшелонирования. Также обязательным условием обеспечения безопасности полетов является полное перекрытие воздушных трасс региона радионавигационными, радиолокационными и радиосвязными полями.

Анализ целесообразности применения критериев для решения практических задач, позволил выбрать для использования в диссертационной

работе следующие критерии: вероятность выхода ВС за пределы трассы, вероятность нарушения норм эшелонирования, а также условие перекрытия воздушных трасс радионавигационными, радиолокационными и радиосвязными полями. Данные критерии определяются эксплуатационными характеристиками средств РТОП, включающими: зону действия, рабочую область и зону конфликтных ситуаций.

На основе проведенного анализа сформулированы основные задачи диссертационного исследования: разработать алгоритм двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП, предполагающего расчет зон действия и рабочих областей РТС навигации, наблюдения и связи; разработать методику расчета зон конфликтных ситуаций; реализовать полученные методики в виде комплекса компьютерных программ и провести с их помощью расчет ЭХ средств РТОП в Санкт-Петербургском центре ОВД.

Вторая глава посвящена анализу существующих и разработке новых методик расчета таких ЭХ, как зона действия и рабочая область, и разработке алгоритма двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП.

В главе приведены методики расчета дальности действия, применимые для радиоволн диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ. Было рассмотрено два варианта расчета: стандартный и энергетический. Стандартный расчет представляет собой расчет прямой радиовидимости с учетом влияния рельефа. Дальность действия для положительных углов равна:

$$D_3[\text{км}] = -\frac{16900 \cdot \text{tg} \beta_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{16900 \cdot \text{tg} \beta_3}{2}\right)^2 + 16,9 \cdot (H_{\text{ЭШ}} + h_{\text{ант}})[\text{м}]}, \quad (1)$$

где D_3 – дальность действия средства с учетом закрытий;

$H_{\text{ЭШ}}$ – высота эшелона;

$h_{\text{ант}}$ – высота антенны;

β_3 – угол закрытия.

Для поднятой антенны минимальный угол закрытия будет меньше нуля, дальность действия находятся как:

$$D_3[\text{км}] = 2 \cdot \sqrt{16,9(H_{\text{ЭШ}} + h_{\text{ант}}[\text{м}]) - \frac{16900 \cdot \text{tg}\beta_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{16900 \cdot \text{tg}\beta_3}{2}\right)^2 + 16,9 \cdot (H_{\text{ЭШ}} + h_{\text{ант}})[\text{м}]}} \quad (2)$$

В состав документации обзорных радиолокаторов и навигационных маяков VOR/DME входят графики углов закрытия, однако для антенн РТС связи ОБЧ диапазона, а также для антенн наземных станций автоматического зависящего наблюдения (АЗН) таких графиков нет. Для решения проблемы была разработана программа, которая на основе данных цифровой модели рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), рассчитывает углы закрытия, а также снимает профили для каждого угла азимута. Полученные графики углов закрытия могут быть использованы для расчета ЗД РТС связи, а также для расчета и анализа ЗД проектируемых РТС.

Стандартный расчет ЗД при сравнении с результатами облетов и другими расчетными методами дает приемлемые результаты. На рисунке 1 показано сравнение ЗД радиолокатора, полученных по данным облета и расчетным методом. Среднее отклонение составило 12,5 км (12%), а медианное – 3 км (3%).

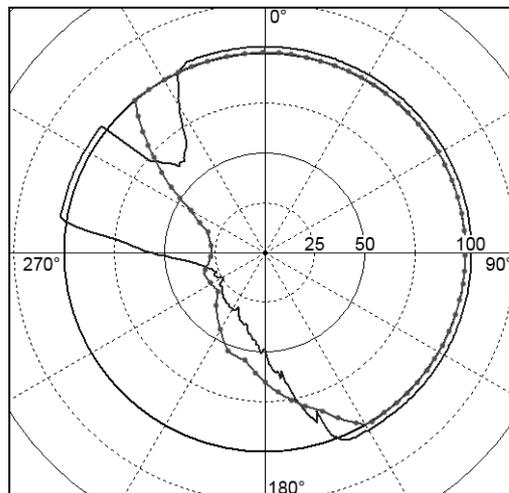


Рисунок 1 - Зона действия радиолокатора для высоты цели 1500 м;
 — стандартный расчет ЗД; — данные облетов

Энергетический расчет позволяет определить напряженность поля в точке приема, при этом учитывается: мощность передатчика и характеристики АФУ,

проводимость и шероховатость отражающей площадки, атмосферная рефракция. Расчет ведется для интерференционной зоны и для зоны тени с применением соответствующих расчетных формул. Зона действия РТС рассчитывается исходя из требований к минимальному уровню напряженности поля. Рассматриваются особенности каждого типа РТС, влияющие на дальность действия.

Для расчета рабочих областей РТС навигации и наблюдения была модифицирована геометрическая методика расчета. В методике, рекомендованной ИКАО, распределение погрешности определения координат ВС считается круговым. В предложенной методике рассчитывается эллипс погрешностей, при этом большая полуось эллипса сравнивается с радиусом защитной области соответствующего типа воздушного пространства. Для азимутально-дальномерных систем размеры полуосей эллипса равны:

$$a_{\alpha} = k \cdot D \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sqrt{2}, \quad (3)$$

$$a_D = k \cdot \sqrt{\sigma_D^2 + (D \cdot k_D)^2} \cdot \sqrt{2}, \quad (4)$$

где a_{α} – полуось, соответствующая погрешности азимутального канала;
 a_D – полуось, соответствующая погрешности дальномерного канала;
 σ_{α} – СКП азимутального канала;
 σ_D – СКП дальномерного канала;
 k_D – коэффициент нарастания погрешности дальномерного канала.

k – коэффициент, характеризующий вероятность нахождения ВС в пределах эллипса, он определяется как:

$$k = \sqrt{-\ln(1-P)}, \quad (5)$$

где P – вероятность нахождения ВС в пределах эллипса.

Так, радиус РО системы VOR/DME при погрешности по каналу азимута 1° , каналу дальности 150 м и коэффициенте нарастания погрешности 0,00125 равен:

- рассчитанный предложенной методикой: 173 км;

- рассчитанный методикой, рекомендованной ИКАО: 210 км.

Таким образом, размеры РО сокращаются на 17,6%.

Для дальномерно-дальномерных систем большая полуось эллипса находится как:

$$a = \sqrt{\frac{4 \cdot k^2 \cdot \sigma_{1^2} \cdot \sigma_{2^2}}{\sigma_{1^2} + \sigma_{2^2} - \sqrt{(\sigma_{1^2} + \sigma_{2^2})^2 - 4 \cdot \sigma_{1^2} \cdot \sigma_{2^2} \cdot \sin^2 \psi}}}, \quad (6)$$

где σ_1, σ_2 – СКП определения дальности первого и второго маяков;

ψ – угол пересечения линий положения;

Рабочая область, рассчитанная предложенной методикой представлена на рисунке 2 (выделена светлым оттенком и подписана как РО).

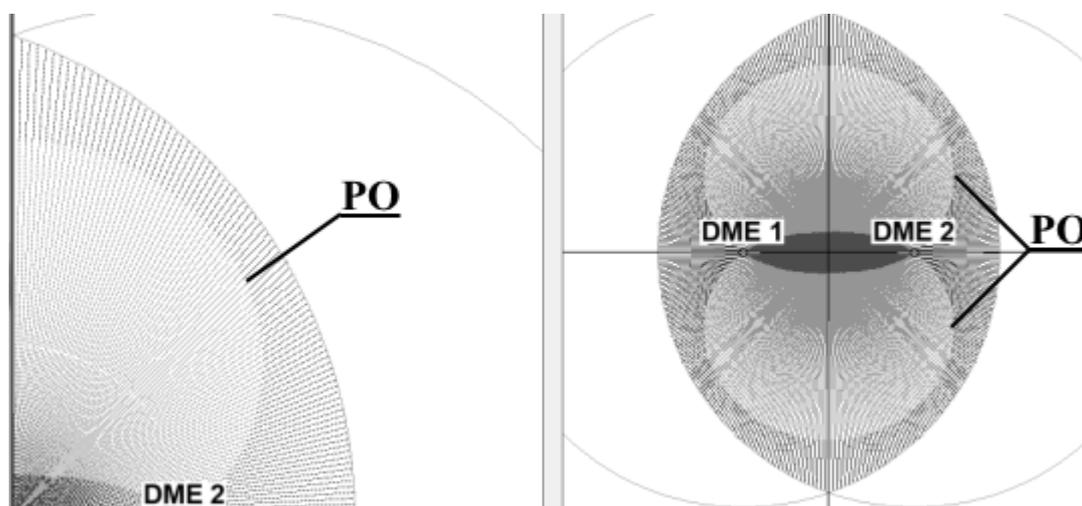


Рисунок 2 - Рабочая область системы DME/DME

Также предлагаемая методика расчета учитывает влияние погрешности пилотирования, которая зависит от типа воздушного пространства и этапа полета. Учет этого фактора и эллиптического распределения погрешности определения координат ВС, приводит к обоснованному уменьшению размеров РО и повышению безопасности полетов.

Вводится понятие рабочей области РТС связи ОВЧ диапазона как области пространства, в пределах которой обеспечивается требуемое качество связи. РО аналоговой радиосвязи рассчитываются исходя из требований к минимальному значению отношения сигнал/шум на входе приемника,

который должен быть выше 3 дБ для приемлемого качества и выше 10 дБ – для хорошего качества связи.

Для цифровой радиосвязи критерием качества является вероятность приема ошибочного сообщения, предельно допустимое значение которой равно 10^{-6} . Текущее значение вероятности приема ошибочного сообщения зависит от вероятности ошибки на бит, количества информационных пакетов и степени их заполненности, а также от возможности использования помехоустойчивого кодирования (как правило используется код Рида-Соломона). Вероятность ошибки на бит зависит от соотношения сигнал/шум и типа модуляции.

В каналах авиационной цифровой радиосвязи используется восьмипозиционная дифференциальная фазовая манипуляция (D8PSK). Для расчета вероятности ошибки на бит используется формула:

$$P_{ош} = \frac{2}{3} \left[F\left(\frac{13\pi}{8}\right) - F\left(\frac{\pi}{8}\right) \right], \quad (9)$$

где $F(\psi) = \frac{\sin \psi}{4\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\exp\{-[(E/N) \cdot \log_2 M](1 - \cos \psi \cdot \cos \theta)\}}{1 - \cos \psi \cdot \cos \theta} d\theta, \quad (10)$

где M – количество позиций манипуляции;

E/N – отношение сигнал/шум.

Дальность, на которой вероятность приема ошибочного сообщения равна 10^{-6} есть граница рабочей области систем цифровой радиосвязи.

Разработанные методики, а также их реализация в виде компьютерных программ включаются в двухэтапный анализа ЭХ средств РТОП, алгоритм которого имеет вид (показано на рисунке 3):

- 1) расчет ЗД РТС навигации, наблюдения и связи;
- 2) расчет РО РТС навигации, наблюдения и связи;
- 3) вывод полученных результатов на радионавигационных картах для определения частных коэффициентов перекрытия воздушных трасс и интегрального коэффициента для исследуемого региона (рисунок 4).

Зона действия определяет границы, в пределах которых обеспечивается получение требуемой информации, РО – задает область пространства, в пределах которой полученная информация имеет требуемое качество. Таким образом, реализуется единый подход в расчете ЭХ средств РТОП.



Рисунок 3 - Алгоритм двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП

Разработанные методики расчета ЭХ могут быть использованы для анализа средств РТОП в различных регионах, например, в Санкт-Петербургском центре ОВД. Полученные математические модели позволяют также разрабатывать предложения по оптимизации структуры и размещения радиотехнических средств в заданном регионе.



Рисунок 4 - ЗД и РО маяка DVOR/DME в Санкт-Петербургском центре ОВД для высоты полета 10000 м и воздушного пространства RNP 4

В третьей главе диссертационной работы разрабатывается методика расчета конфликтных ситуаций. В настоящее время зоны конфликтных ситуаций рассчитываются геометрическим методом. Он заключается в анализе взаимных положений двух ВС, следующих по маршрутам (рисунок 4). Границы зон конфликта определяют предельные позиции воздушных судов, при которых расстояние между ними равно сумме радиусов круговых защитных зон (circle protection area, CPA). На рисунке 5 представлен график, показывающий размеры зоны конфликтных ситуаций. Так, если ВС находится на 50-м километре первого маршрута, то суда, находящиеся на интервале от 47 до 80 км второго маршрута конфликтуют с ним.

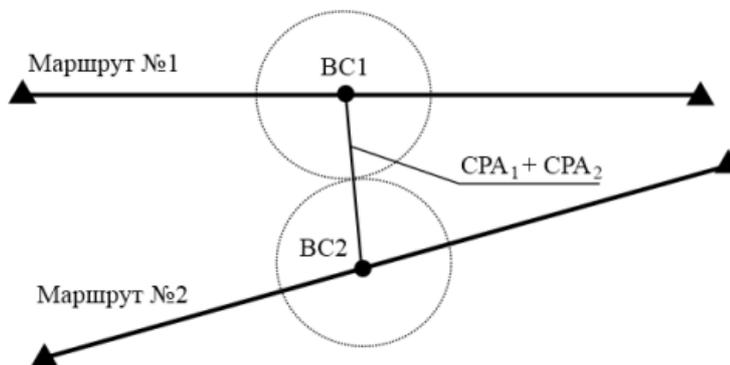


Рисунок 4 - К расчету зон конфликтных ситуаций геометрическим методом

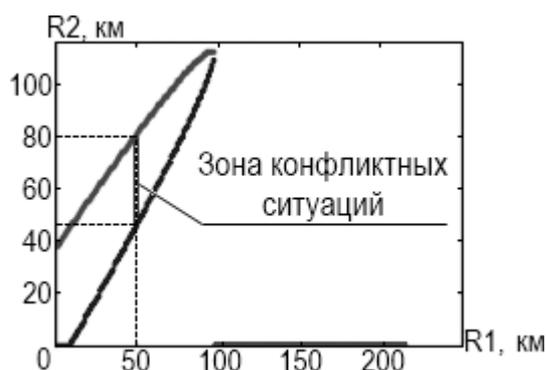


Рисунок 5 - График зоны конфликтных ситуаций для параллельных трасс

Данный способ выявления конфликтных ситуаций используется в таких инструментах Eurocontrol, как STCA (Short Term Conflict Alert) и MTCD (Medium Term Conflict Detection).

Недостаток метода состоит в том, что он не учитывает погрешности определения местоположения воздушного судна. Для учета этого фактора был разработан вероятностный метод расчета размеров зоны конфликтных ситуаций. Суть предлагаемой методики состоит в расчете вероятности появления первого самолета в пределах круговой защитной зоны второго самолета. Текущее значение вероятности находится как интеграл от распределения ошибки определения координат первого ВС взятый на площади круговой защитной области второго ВС. Предельно допустимое значение вероятности равно $3.5 \cdot 10^{-8}$.

Важной проблемой при расчете, является выбор закона распределения ошибки. В циркуляре ИКАО №319 отмечено, что использование нормального закона распределения, так же, как и классического закона Лапласа для расчета вероятности появления редких событий нецелесообразно.

В диссертационной работе были проанализированы различные распределения. Для использования в дальнейших расчетах было выбрано составное распределение, представляющее собой сумму плотностей вероятности двумерного нормального закона и обобщенного закона Лапласа, как наиболее точно аппроксимирующее данные измерений (11).

$$f(x, y) = (1 - p) \cdot \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} + \\ + p \cdot \frac{1}{\pi\sigma_1\sigma_2} \cdot K_0\left(\frac{1}{\sqrt{\sigma_1\sigma_2}} \cdot \sqrt{x^2\sigma_2/\sigma_1 + y^2\sigma_1/\sigma_2}\right), \quad (11)$$

где K_0 – мод. функция Бесселя третьего рода нулевого порядка.

На рисунке 6 показана зона конфликтных ситуаций, рассчитанная с применением нормального и составного распределений (обозначены как 1 и 2).

В четвертой главе производится расчет ЭХ средств РТОП в Санкт-Петербургском центре ОВД. При этом используется комплекс компьютерных программ, в которых реализованы разработанные методики.

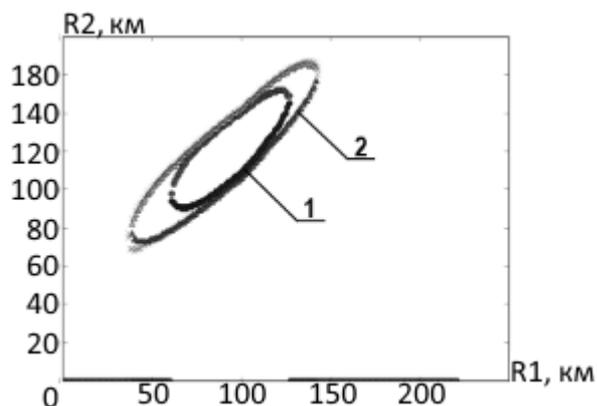


Рисунок 6 - Зона конфликтных ситуаций, рассчитанная вероятностным методом; R1 – первая воздушная трасса, R2 – вторая воздушная трасса

Особое внимание было уделено расчету ЗД автономных ретрансляторов (АРТР), используемых для связи с низколетящими воздушными судами. По результатам анализа выработана рекомендация установить дополнительный ретранслятора в Осьмино, что позволит повысить коэффициент перекрытия местных воздушных линий с 0,856 до 0,954.

Также было проанализировано влияние отказа АРТР на коэффициент покрытия; наиболее опасным в данном аспекте является отказ ретранслятора в Боровичах (при его отказе степень покрытия снизится до 0,756).

Был произведен расчет ЗД перспективной сети навигационных маяков-дальномеров. Проанализированы два варианта состава и размещения РТС и выбран оптимальный, обеспечивающий перекрытие аэродромной зоны при полетах на малых высотах.

Расчет ЗД и РО РТС навигации, связи и наблюдения показал, что обеспечивается достаточно высокая степень перекрытия магистральных воздушных трасс, а не перекрытые участки расположены в основном на границе зоны ответственности. Это позволяет сделать вывод о необходимости пространственного разнесения РТС, дабы устранить или уменьшить разрывы полей РТС вблизи границ контролируемого пространства. Также были рассчитаны зоны конфликтных ситуаций для выбранных участков трасс.

В целом, по результатам анализа Санкт-Петербургского центра ОВД были сделаны выводы о приемлемой достаточности инфраструктуры средств РТОП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация содержит решение актуальной задачи – разработки методик расчета ЭХ средств РТОП и реализации этих методик в виде комплекса компьютерных программ. В результате проведенных исследований получены следующие основные научные результаты:

1. Разработан алгоритм двухэтапного анализа ЭХ средств РТОП, в котором реализован единый подход к расчету ЭХ основных РТС навигации, наблюдения и связи.

2. Разработана методика расчета рабочей области РТС связи ОВЧ диапазона (понятие РО РТС связи введено впервые).

3. Разработана методика расчета зон конфликтных ситуаций, учитывающая погрешности определения координат ВС. При этом использовался не применявшийся ранее составной закон распределения.

4. Проведен расчет ЭХ средств РТОП в Санкт-Петербургском центре ОВД и разработаны рекомендации, позволяющие повысить безопасность полетов.

СПИСОК РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Рубцов, Е.А. Определение формы и размеров рабочей области при навигации по двум маякам DME / Е.В. Соболев, Е.А. Рубцов // Научный вестник МГТУ ГА, серия Радиофизика и радиотехника. – 2013. – №193. – С. 59–63.

2. Рубцов, Е.А. Распределение ошибок определения координат воздушных судов / Е.А. Рубцов // Вестник СГАУ. – 2014. – №1(43). – С. 267–275.

3. Рубцов, Е.А. Выбор рационального состава и размещения радиомаяков VOR/DME в Республике Ирак для обеспечения зональной навигации / Е.В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е.А. Рубцов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – №2(39). – С. 111–117.

4. Рубцов, Е.А. Оценка степени покрытия воздушных трасс Республики Ирак рабочими областями радиомаяков VOR/DME / Е.В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е.А. Рубцов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – №3(40). – С. 111–117.

5. Рубцов, Е.А. Обзор методик расчета рабочей области азимутально-дальномерных радиотехнических систем / М.Х. Аль-Рубой, Е.А. Рубцов // Естественные и технические науки. – 2014. – №8(76). – С. 137-144.

6. Рубцов, Е.А. Обеспечение зональной навигации в районе аэродрома Пулково / Е.А. Рубцов // Естественные и технические науки. – 2014. – №8(76). – С. 145-148.

Научные публикации в других изданиях:

7. Рубцов, Е.А. Двухэтапный анализ радиотехнического обеспечения полетов в регионе / Е.А. Рубцов // Королевские чтения: Международная молодежная конференция, посвященная 50-летию полета человека в космос: тезисы докладов, 4-6 окт. 2011 г., СГАУ. – Самара. – 2011. – С. 245–246.

8. Рубцов, Е.А. Автоматизированная система анализа радиотехнического обеспечения полетов / Е.А. Рубцов // Гражданская авиация: XXI век: материалы III Международной молодежной научной конференции, 12-13 апр. 2011 г., УВАУ ГА(И). – Ульяновск: УВАУ ГА(И). – 2011. – С. 59–60.

9. Рубцов, Е.А. Методика расчета зон конфликтных ситуаций с учетом погрешности определения местоположения ВС / Е.А. Рубцов // Человек и транспорт (Эффективность. Безопасность. Эргономика.). Секция

«Авиационный и скоростной наземный транспорт»: материалы секции международной научно-практической конференции, 15-18 сент. 2014 г., СПбГУ ГА. – Санкт-Петербург. – 2014. – С. 50–53.

10. Рубцов, Е.А. Расчет дальности радиовидимости с учетом влияния рельефа и атмосферы / Е.В. Соболев, Н.В. Книжниченко, Е.А. Рубцов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2012. – №1(3). – С. 44–54.