

На правах рукописи

Стрелец Максим Викторович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ  
ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО  
ДОСТУПА**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 2007

Работа выполнена в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ).

Научный руководитель:	член - корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Шахгильдян Ваган Ваганович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, Быховский Марк Аронович,  кандидат технических наук Васехо Николай Владимирович
Ведущая организация:	Ленинградский Отраслевой научно-исследовательский институт Радио (ЛОНИИР)

Защита состоится «5» апреля 2007 г. в 15 часов в ауд. А-455 на заседании диссертационного совета К219.001.03 при Московском техническом университете связи и информатики по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д.8а, МТУСИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МТУСИ.

Автореферат разослан «22» февраля 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Косичкина Т.П.

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** Особенностью современного состояния развития систем беспроводного доступа и других средств связи является значительный рост их числа, увеличение энергетических показателей передающих устройств, расширение зон обслуживания и, как следствие, усложнение проблем выделения (присвоения) новых полос частот и обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) с различными радиоэлектронными средствами (РЭС) в общих полосах частот.

В связи с ограничением частотного ресурса, разработка новых систем беспроводного доступа приводит к увеличению нагрузки на естественный ресурс и, как следствие, усложнению процедуры выделения полос частот для новых систем.

Неуклонная потребность в частотном ресурсе (по Решениям ГКРЧ и разрешениям Россвязи) за последние 3 года в системах радиосвязи (спутниковые, навигационные, радиолокация, подвижная связь и многие другие) и возрастающий спрос на широкополосные сигналы исключают возможность использовать полосу частот только одной радиослужбой (за исключением сигналов бедствия и безопасности) и делают задачу эффективного использования полос частот различными радиослужбами весьма актуальной. Эта задача решается как на национальном, региональном, так и во всемирном масштабе. Каждые 3-5 лет на Всемирных конференциях радиосвязи происходит пересмотр Таблицы радиочастот (ТРЧ) Регламента радиосвязи с целью удовлетворения возрастающих потребностей администраций в новых радиотехнологиях и, при этом, обеспечении необходимой защитой существующих радиослужб.

Поэтому одним из важных направлений обеспечения эффективного распределения и использования радиочастотного ресурса является применение алгоритмов оптимизации, использование которых позволит определить необходимый частотный ресурс, предназначенный для предоставления различных типов услуг связи, определенному количеству абонентов, в конкретном географическом регионе, с учетом ЭМС в данном регионе с действующими и планируемыми РЭС, а также с учетом функционирования и реальной пропускной способности оборудования.

Наибольший вклад в исследование методов оптимизации частотного ресурса и ЭМС в разные годы внесли: М.А. Быховский, О.А. Шорин, В.В. Григорьев, А.И. Ермаков, А.П. Бессонов, В.В. Соловьев, и др.

**Цель и задачи работы.** Целью диссертационной работы является разработка и усовершенствование алгоритмов оптимизации распределения и использования частотного ресурса и выработки на ее основе практических рекомендаций для конкретных условий развертывания системы беспроводного доступа.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- создана модель системы беспроводного доступа;

- проведены исследования влияния различных параметров на модель проектирования системы беспроводного доступа;

- разработаны алгоритмы оптимизации распределения и использования частотного ресурса;

- определены затрагиваемые службы при проектировании систем беспроводного доступа;

- разработаны алгоритмы ЭМС.

**Методы исследования.** Для решения поставленной в диссертационной работе задачи использовались методы системного анализа, исследования операций, теории вероятностей, теории передачи информации и электромагнитной совместимости.

**Объектом исследований** в диссертационной работе является частотный ресурс для радиоэлектронных средств систем беспроводного доступа. Предметом исследований – параметры функционирования радиоэлектронных средств системы беспроводного доступа.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- поставлена и решена задача определения необходимого частотного ресурса с учетом электромагнитной совместимости РЭС системы беспроводного доступа с действующими и планируемыми РЭС, когда в исследовательскую схему включены факторы, характеризующие влияние внешних условий на распространение полезного и помехового сигналов;

- разработаны новые методы оптимизации определения потребности в радиочастотном ресурсе для предоставления различных услуг операторами сетей связи, методы оценки допустимого числа операторов при фиксированном частотном ресурсе, а также использование аппарата баз знаний для решения задачи оптимального распределения радиочастотного ресурса.

Разработанная постановка задачи и методическая схема ее решения отличаются от известных тем, что их целевой направленностью является распределение частотного ресурса с учетом возможных методов повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

**Личный вклад.** Все результаты, приведенные в диссертационной работе, получены автором лично. В работах, проведенных в соавторстве, научному руководителю принадлежит постановка задачи и обсуждение результатов исследований.

**Практическая ценность** диссертационной работы заключается в доведении разработанной в ней комплексной методики до программной реализации на ПЭВМ, что позволяет использовать ее для решения задачи позволяющей оптимальным образом распределять наличный частотный ресурс между операторами систем беспроводного доступа (СБД) или определять допустимое количество операторов для выделенного частотного ресурса на заданной территории (при обеспечении беспомеховой (с приемлемым уровнем помех) работы радиоэлектронных средств, работающих в общей полосе частот). Предполагается, что

разработанная комплексная методика будет использована представителями радиочастотных органов, так и операторами сетей беспроводного доступа.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты диссертационной работы внедрены ОАО “Старт Телеком” и НПФ “Гейзер” при проектировании систем беспроводного доступа. Использование результатов работы подтверждается соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ (г. Москва, 2005г., 2006г.), на 10 – ой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. (г. Обнинск, 2006г), на Всероссийских научно-технических конференциях «Информационные системы и технологии» (г. Н. Новгород, 2005г., 2006г.), на 8 – ой научной сессии «Интеллектуальные системы и технологии» МИФИ (Москва, 2005г.), на Собраниях рабочих групп Сектора радиосвязи МСЭ 8D и 4A (г. Женева, 2004г., 2005 г., 2006г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 24 печатные работы.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Алгоритм определения зоны обслуживания СБД, является полным и непротиворечивым.
2. Применение алгоритма перекрытия зон радиосвязи дает выигрыш по сравнению с формулой Эрланга.
3. Разработанный алгоритм определения необходимого частотного ресурса позволяет получать близкие к оптимальным решения.
4. Разработанные алгоритмы проведения оценки ЭМС достаточно универсальны и позволяют решать сформулированную задачу в широком диапазоне изменения параметров функционирования систем беспроводного доступа и РЭС, работающих в общих полосах частот, а также параметров, характеризующих внешние условия их совместного функционирования.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений. Работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка, 16 таблиц, список литературы состоит из 86 наименований и 5 приложений.

#### **Краткое содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, ее научная новизна и практическая ценность, сформулированы цели и задачи, перечислены основные научные результаты, полученные в диссертационной работе, определена область их применения, приведены сведения об апробации работы, публикациях, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертационной работы проведен анализ существующих алгоритмов оптимизации частотного ресурса и проблем

электромагнитной совместимости РЭС системы беспроводного доступа с РЭС другого назначения, функционирующих в общих полосах частот. Рассмотрены особенности функционирования систем беспроводного доступа и систем другого назначения, определены основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на функционирование радиолиний, проведен морфологический анализ возможных методов уменьшения помех, создаваемых РЭС системой беспроводного доступа в отношении РЭС другого назначения, и соответствующих им параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа. Разработаны направления исследований и состав необходимого методического обеспечения для определения минимально необходимого частотного ресурса и параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа. Выбраны показатели, характеризующие работу системы беспроводного доступа, и ее пропускную способность. Приняты ограничения и допущения. Сформулирована смысловая и формализованная постановка задачи, предложена методическая схема ее решения.

В данной главе определены методы решения поставленной задачи оптимального присвоения частот, а также определены основные службы, с которыми требуется электромагнитная совместимость.

**Во второй главе** диссертационной работы разработаны методики и модели в составе алгоритма оптимизации, позволяющие обосновывать выбор рациональных параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа и РЭС другого назначения, распределения и использования частотного ресурса.

Разработана методика выбора рациональных параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа для оказания различных услуг связи определенному количеству пользователей. В основе данной методики лежит алгоритм поиска максимума целевой функции при заданных ограничениях. Результатом использования методики является определение таких параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа, которые позволяют минимизировать необходимый частотный ресурс системы беспроводного доступа для предоставления определенного количества видов услуг с заданным качеством планируемому числу пользователей.

Для методики формулируется постановка задачи, процесс решения которой реализуется совокупностью последовательно выполняемых этапов, доведенных до уровня алгоритмической и программной реализации.

Основной задачей при проектировании является определение структуры СБД. При этом величина коэффициента повторного использования ( $K_{повт}$ ) должна принимать максимальное значение.

Постановка задачи может быть представлена в следующем виде:

$$K_{\text{повт}}(y\{R_{\text{обсл}}, L, M, n, q\}) \xrightarrow{\text{opt}} \max,$$

где:

$y\{R_{\text{обсл}}, L, M, n, q\}$  - вектор параметра кластера;

$L$  - размерность кластера;

$M$  - число секторов в соте;

$n$  - число каналов;

$q$  - коэффициент ЭМС между кластерами.

Определена максимальная зона обслуживания системы беспроводного доступа с учетом типа развертывания системы, а также трафиком работы.

Введено новое понятие коэффициента ЭМС между кластерами ( $q_{l,j}$ ). Коэффициент ЭМС между кластерами показывает влияние предоставляемых услуг оператором СБД в конкретной соте на соту, использующую одну ту же полосу частот. Таким образом, можно определить влияние интерференционной помехи между сотами, использующими одну и ту же полосу частот.

$$q_{l,j} = \sum_{i,j=1}^n \frac{L_{i,j}}{L_{l,j}} \frac{1}{\frac{W}{\left(E_b/N_0\right)_{i,l} R_{i,j}} + 1},$$

где:

$q_{l,j}$  - коэффициент, показывающий влияние  $l$ -ой ячейки на  $j$ -ую ячейку;

$L_{l,j}$  - потери на трассе между  $i$ -ым трансивером  $l$ -ой ячейки и  $j$ -ой ячейкой;

$L_{i,j}$  - потери на трассе между  $i$ -ым трансивером и БС <sub>$j$</sub> ;

$(E_b/N_0)_{i,l}$  - показатель качества радиолинии для  $i$ -го трансивера в  $j$ -ой ячейке;

$W$  - ширина полосы канала;

$R_{i,j}$  - скорость передачи  $i$ -го трансивера в  $j$ -ой ячейке.

В работе для определения необходимого числа каналов с учетом трафика образуемого в зоне обслуживания используется модель с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов.

Для определения необходимого числа каналов в системе с коммутацией каналов использовался алгоритм, в соответствии с которым зона обслуживания планируется с перекрытием зон радиосвязи соседних сот.

На рис. 1 представлена модель системы беспроводного доступа, использующая зоны перекрытия.

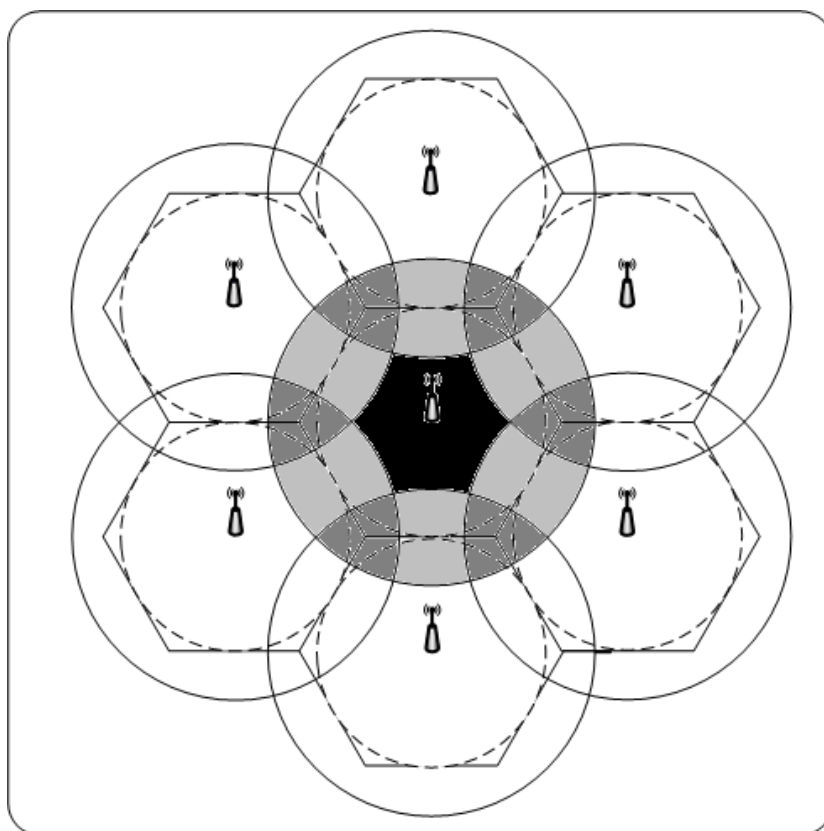


Рис. 1. Модель СБД с зонами перекрытия

Зона однократного перекрытия.

Зона двукратного перекрытия.

Зона трехкратного перекрытия.



Общая вероятность  $P(n_{kk})$  блокировки вызовов в соте получена как взвешенная сумма вероятностей блокировок в отдельных зонах перекрытия соты, весовые коэффициенты соответствуют отношениям площадей  $S_k$  перекрытий, находящихся в соте, к площади  $S$  соты. Таким образом, общая вероятность блокировки вызовов в соте при использовании системы с зонами перекрытия:

$$P(n_{kk}) = \sum_{k=1}^K \frac{S_k}{S} P_k(n_{kk}),$$

где:

$k$  – зона перекрытия;

$n_{kk}$  – необходимое число каналов.

Применение зон перекрытия позволило снизить вероятность блокировки в соте по сравнению с вероятностью блокировки по формуле Эрланга В.

При использовании зон перекрытия вероятность, что каналы будут заняты, уменьшается быстрее, чем в изолированной соте.

При определении необходимого числа каналов в системе с коммутацией пакетов использовался критерий качества время ожидания освобождения канала ( $D_n$ ):

$$D_n(n_{\text{кп}}) = \frac{\sum_{i=1}^N V_i s_i^{(2)}}{2 \left( n_{\text{кп}} - \sum_{i=1}^n V_i s_i \right) \left( n_{\text{кп}} - \sum_{i=1}^{n-1} V_i s_i \right)} + \frac{s_i}{n_{\text{кп}}},$$

где:

$V_i$  – скорость приема пакетов;

$S_i$  - размер пакета.

$n_{\text{кп}}$  – необходимое число каналов.

Определен частотный ресурс, необходимый для создания СБД с учетом характеристик зоны обслуживания (услуги оператора, число абонентов, требуемое качество обслуживания, трафик создаваемый в соте).

**В третьей главе** разработаны методики и модели в составе алгоритма оптимизации, позволяющие обосновывать выбор рациональных параметров функционирования РЭС системы беспроводного доступа и РЭС другого назначения, влияющие на создание системы связи и электромагнитную совместимость системы беспроводного доступа и систем другого назначения. Вычисление показателя уровней помех осуществляется на основе использования модели функционирования системы беспроводного доступа.

Было выявлено, что наибольшие трудности возникают при координации СБД и земных станций фиксированной спутниковой службы (ЗС ФСС). Условие ЭМС между сетью беспроводного доступа и ЗС ФСС считается выполненным, если будет одновременно обеспечена электромагнитная совместимость каждой станции сети беспроводного доступа, рассматриваемой как потенциальный источник помех, и земной станции, рассматриваемой как приемник помех. Таким образом, задача оценки ЭМС может быть сведена к последовательному рассмотрению дуальных помеховых вариантов взаимодействия каждой действующей наземной станции сети беспроводного доступа и земной станции фиксированной спутниковой связи.

Правило обеспечения ЭМС между  $i$ -ой станцией беспроводного доступа и ЗС ФСС можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} I_{\text{доп\_блок}} \geq I_{\text{ож\_блок } i} & \text{в любом участке совмещенной полосы частот,} \\ I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ож } i} & \text{в полосе основного или побочного каналов приема,} \end{cases}$$

где:

- $I_{\text{доп}}$  - допустимая мощность помехи по основному или побочному каналам приема на входе приемника ЗС ФСС;
- $I_{\text{ож } i}$  - ожидаемая мощность помехи, создаваемая  $i$ -ой РЭС сети беспроводного доступа, по основному или побочному каналам приема на входе приемника ЗС ФСС;
- $I_{\text{доп\_блок}}$  - допустимая мощность помехи по блокированию элементов приемного ВЧ тракта ЗС ФСС;
- $I_{\text{ож\_блок } i}$  - ожидаемая мощность помехи, создаваемая  $i$ -ой РЭС сети беспроводного доступа, по блокированию элементов приемного ВЧ тракта ЗС ФСС.

Алгоритм проведения расчетов, реализующий принятые выше условия обеспечения ЭМС, приведен на рис. 2.

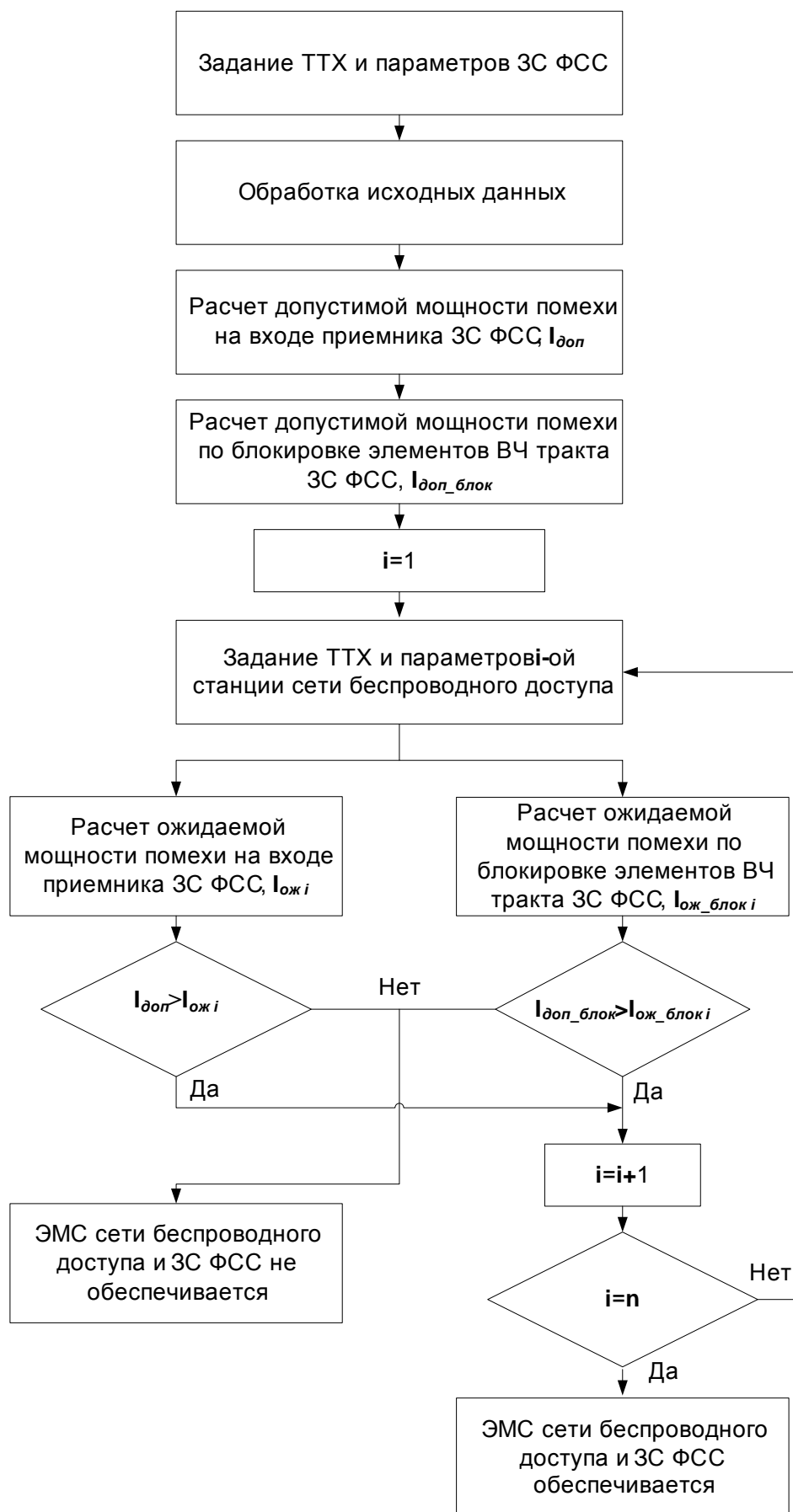


Рис. 2. Алгоритм проведения оценки ЭМС между сетью беспроводного доступа и ЗС ФСС

Одним из наиболее широко используемых на практике способов согласования условий совместной работы РЭС, оказывающих взаимное помеховое влияние является разработка и реализация норм частотно-территориального разнеса (ЧТР) между данными РЭС. Более того, к техническим способам повышения эффективности использования спектра относятся: совершенствование структуры сигналов и протоколов обмена, синхронизация сигналов, фильтрация сигналов, сотовое построение систем, подавление мешающих сигналов, разделение процессов функционирования систем по времени. Традиционным способом решения такого рода задач является ЧТР РЭС, работающих в общей полосе частот.

Разработанная методика расчета норм ЧТР основывается на основании Рекомендации МСЭ-Р SM.337-4.

Алгоритм определения правил ЧТР может быть представлен следующим образом:

*Шаг 1:* Определить уровень полезного сигнала на входе приемника, испытывающего помеху.

*Шаг 2:* Рассчитать результирующий уровень помехи на входе приемника, испытывающего помеху.

*Шаг 3:* Вычислить соотношения между частотным разнесом и территориальным разнесом.

**В четвертой главе** представлена практическая реализация и экспериментальная проверка предложенных решений. С использованием представленных алгоритмов выбора конфигурации системы беспроводного доступа, функциональных и технических требований к СБД, на основании существующей Рекомендации МСЭ-Р М.1651 были проведены расчеты.

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность:

- уменьшения требуемого частотного ресурса на 15% при использовании разработанных алгоритмов;
- снижение требуемого количества каналов.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы, состоящие в следующем:

1. Разработаны алгоритмы оптимизации, позволяющие определить необходимый частотный ресурс для создания СБД с целью предоставления различных типов услуг связи в планируемом географическом регионе. Алгоритмы оптимизации учитывают топологию СБД, трафик работы в зоне обслуживания и системную емкость оборудования.

2. При определении вероятности блокировки вызовов для систем с коммутацией каналов используется модель системы беспроводного доступа с зонами перекрытия.

3. Впервые в методическую схему определения требуемого числа каналов включена модель с коммутацией пакетов. Требования по качеству основываются на времени освобождения канала.

4. Введено понятие коэффициента ЭМС между кластерами, показывающего влияние услуг предоставляемых оператором СБД.

5. Разработана методика оценки помех, создаваемых системами беспроводного доступа в отношении ЗС ФСС, которая позволяет установить и оценить зависимость выходного показателя помех от различных характеристик и параметров функционирования систем беспроводного доступа.

Использованный в данной методике подход аналитического моделирования позволяет существенно сократить время, требуемое для проведения расчетов без потери качества и точности получаемых результатов.

Кроме того, являясь составной частью разработанной комплексной методики для выбора рациональных параметров функционирования РЭС систем беспроводного доступа, методика может иметь самостоятельное значение для анализа электромагнитной совместимости систем беспроводного доступа и ЗС ФСС, а также для исследования влияния различных характеристик и параметров систем беспроводного доступа на создаваемые уровни помех.

6. Разработана методика определения требований по защите систем, работающих в полосах частот СБД от помех, создаваемых системами беспроводного доступа.

Разработанная методика:

- по своим входным и выходным параметрам представлена в рамках единой методической схемы, ориентированной на решение задач по исследованию влияния различных параметров функционирования систем беспроводного доступа на уровни создаваемых помех, в отношении РЭС работающих в общих полосах частот, а также выбор рационального сочетания таких параметров;

- достаточно универсальная и позволяет решать сформулированную задачу в широком диапазоне изменения параметров функционирования систем беспроводного доступа и РЭС, работающих в общих полосах частот, а также параметров, характеризующих внешние условия их совместного функционирования;

- доведена до соответствующих алгоритмов и реализована на ПЭВМ;

- подтверждается многочисленными работами по оценке электромагнитной совместимости конкретных систем беспроводного доступа со станциями различных радиослужб и базируется на применении апробированных методов теории вероятностей, исследования операций и системного анализа, использованием

общепринятых корректных допущений, отсутствием противоречий между полученными в работе результатами и существующими научными положениями теории электромагнитной совместимости, а также результатами работ в этой области других авторов.

### Список публикаций

1. Шахгильдян В.В., Стрелец М.В. Повышения эффективности использования частотного ресурса в системах беспроводного доступа. // Электросвязь. -2007. - №1. – С. 31-32.

2. Стрелец М.В. Исследование и разработка алгоритмов распределения и использования частотного ресурса // Тезисы докладов. Научная конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. Книга 1. - М.: МТУСИ – 2005. - С. 67-68.

3. Стрелец М.В. Частотно-территориальное планирование систем беспроводного доступа // Тезисы докладов. Научная конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. Книга 1. - М.: МТУСИ – 2006. - С. 86.

4. Шахгильдян В.В., Стрелец М.В. Электромагнитная совместимость между системами беспроводного доступа и земными станциями фиксированной спутниковой службы // Труды Международной научной конференции ИРЭМВ- 2005 «Излучение и рассеяние электромагнитных волн», 2005. – С. 270-271.

5. Стрелец М.В. Применение генетических алгоритмов для оптимизации распределения частотного ресурса // Труды 8 – ой научной сессии «Интеллектуальные системы и технологии». Том 3. М.: МИФИ– 2005. - С. 138 – 139.

6. Стрелец М.В. Алгоритм оптимизации условий совместного использования общих полос частот системами беспроводной передачи данных и фиксированной спутниковой службой // Тезисы докладов. Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии», НГТУ-2005. – С. 42-43.

7. Стрелец М.В. Методика оценки ЭМС между СБД и ЗС ФСС // Тезисы докладов. Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии», НГТУ – 2006. - С. 29-30.

8. Сорокин С.Н., Стрелец М.В. Эволюционное проектирование элементов телекоммуникационных систем // Труды 10 – ой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. Том 3. М.: Физматлит– 2006. - С. 993 – 999.

9. Стрелец М.В. Применение методов искусственного интеллекта при оценке ЭМС между РЭС СБД и ЗС ФСС в полосе частот 3400-4200 МГц // Труды 10 – ой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. Том 3. М.: Физматлит– 2006. - С. 1000 – 1004.

10. V.V. Shahgildyan, M.V. Strelets. The algorithm to optimize allocation and utilization of frequency spectrum for wireless access systems. // The 7<sup>th</sup> IEEE Emerging Technologies Workshop "Circuits and Systems for 4G Mobile Communication". St. Petersburg State Polytechnical University Publishing House, 2005, p. 20-23.
11. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposals on preparation of a preliminary draft new ITU-R Recommendation - Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in radionavigation-satellite service operating in the band 1 164- 1 215 MHz. // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2004, 8D/89, pp. 3.
12. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposed revision of Recommendation ITU-R M.1088 - Consideration for sharing with systems in other services operating in the bands allocated to radionavigation satellite service. // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2004, 8D/90, pp. 8.
13. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposed revision of Recommendation ITU-R M.1317 - Considerations for sharing between systems of other services operating in the bands allocated to the radionavigation satellite and aeronautical radionavigation services and the global navigation satellite system (GLONASS-M) // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2004, 8D/91, pp. 8.
14. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Analysis of necessity of modifying existing ITU-R Recommendations and drafting new ITU-R Recommendations to describe characteristics of RNSS system transmitters and receivers in the frequency bands 1 559-1 610 MHz, 1 215-1 300 MHz and 1 164-1 215 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2004, 8D/92, pp. 4.
15. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Working document towards preliminary draft new Recommendation ITU-R M.[CHAR-RX3] - Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in the radionavigation-satellite service operating in the band 1 164-1 215 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/191, pp. 5.
16. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposals for modification of Recommendation ITU-R M.1317 - Description of RNSS systems and technical characteristics of transmitting space stations operating in the RNSS systems (space-to-Earth and space-to-space) in the bands 1 164-1215 MHz, 1215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz and 5 010-5 030 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/193, pp. 8.
17. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposal for modification of Recommendation ITU-R M.1088 - Characteristics and protection criteria for receiving earth stations of the radionavigation-satellite service in the band 1 215-1 300 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/196, pp. 5.
18. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposals for modification of preliminary draft new Recommendation ITU-R M.[1477\_NEW] - Characteristics and protection criteria for receiving earth stations of the radionavigation-satellite service (space-to-Earth) in the band 1 559-1 610 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/232, pp. 13.

19. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposals for modification of the Preliminary Draft New Recommendation ITU-R M.[1088\_NEW] - Characteristics and protection criteria for receiving Earth stations of the radionavigation-satellite service in the band 1 215-1 300 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/233, pp. 5.

20. I.V. Zheltonogov, M.V. Strelets and others. Proposals for modification of Preliminary Draft New Recommendation ITU-R M.[CHAR-RX3] - Characteristics and protection criteria for receiving Earth stations in the radionavigation-satellite service operating in the band 1 164-1 215 MHz // ITU-R Working Party 8D, ITU, 2005, 8D/234, pp. 5.

21. M.V. Strelets. Coordination between terrestrial stations and typical Earth stations in frequency bands of Appendix 30B // ITU-R Working Party 4A, ITU, 2006, 4A/306, pp. 3.

22. M.V. Strelets. Proposed amendments to the draft CPM text on WRC-07 A.I. 1.10 // ITU-R Working Party 4A, ITU, 2006, 4A/310, pp. 6.

23. M.V. Strelets. Draft CPM text in respect to WRC-07 Agenda item 1.10 (Issue H) // ITU-R Working Party 4A, ITU, 2006, 4A/352, pp. 4.

24. M.V. Strelets. Draft CPM text for WRC-07 Agenda item 1.10 (Issue (G)) // ITU-R Working Party 4A, ITU, 2006, 4A/353, pp. 5.