

# Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи <sup>1</sup>

## Автореферат

200 руб.  
Артикул: 228232

Год:  
2005

Автор:  
Шорин, Олег Александрович

Тема диссертации:  
Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса  
в системах подвижной радиосвязи

Ученая степень:  
доктор технических наук

Место защиты диссертации:  
Москва

Код специальности ВАК:  
05.12.13

Специальность:  
Системы, сети и устройства телекоммуникаций  
Количество страниц:  
351

Обратите внимание, представленные ниже научные тексты размещены для ознакомления и получены посредством распознавания оригинальных текстов диссертаций (OCR). В связи с чем, в них могут содержаться ошибки, связанные с несовершенством алгоритмов распознавания. В PDF файлах диссертаций и авторефератов доставляемых из РГБ подобных ошибок нет.

---

<sup>1</sup> Путём наведения на голуби́й шрифт соответствующий текст можно загрузить со страницы <http://www.dataundering.com>

## Оглавление:

Введение.

### Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ.

- 1.1. Проблема вычислительной сложности задачи частотно-территориального планирования в современных и проектируемых системах подвижной радиосвязи.
- 1.2. Задача синтеза оптимальной структуры опорной сети базовых станций.
- 1.3. Общие проблемы задачи прогноза перегрузок сотовых сетей на основе анализа динамического поведения подвижных абонентов.
- 1.4. Проблема адаптации систем подвижной радиосвязи к территориально-адресному распределению нагрузки.

### Глава 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РЕСУРСА В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МОНОТОННЫХ СИСТЕМ.

- 2.1. Частотно-территориальное планирование в современных и проектируемых системах подвижной радиосвязи.
- 2.2. Теория монотонных множеств в задачах планирования частотного ресурса.
- 2.3. Синтез алгоритма выделения групп интермодуляционно совместимых частот на основе монотонной меры.
- 2.4. Алгоритм синтеза оптимальной структуры сотовых сетей связи.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.

### Глава 3. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПЕРЕГРУЗОК СОТОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ АБОНЕНТОВ.

- 3.1. Режим перегрузки и его связь с параметрами мобильности.
- 3.2. Модели нестационарных законов для характеристик мобильности. Оценки параметров.
- 3.3. Динамика переходных процессов, описывающих изменение числа абонентов в соте. Предсказание перегрузок.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.

### Глава 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АДАПТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА РАДИОКАНАЛА В СОТОВЫХ И ВЕДОМСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ.

- 4.1. Оптимизация управления случайным множественным доступом в ССПР.
- 4.2. Повышение емкости сотовых систем связи при использовании зон перекрытия в режиме управления доступом.
- 4.3. Анализ пакетной передачи данных в многоканальных системах подвижной радиосвязи.
- 4.4. Синтез сети подвижной радиосвязи с множественным доступом.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.

### Глава 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА ССПР ПРИ РЕШЕНИИ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ.

- 5.1. Интермодуляционная совместимость частот при частотно-территориальном планировании сетей оперативной радиосвязи.
- 5.2. Интермодуляционная совместимость частот и управление множественным доступом в низкоорбитальных спутниковых системах связи.
- 5.3. Выделение групп интермодуляционно совместимых частот для сотовых систем связи.
- 5.4. Синтез радиосети оптимальной структуры для опытной зоны системы UMTS в г. Иваново.
- 5.5. Оптимизация использования частотно-временного ресурса в системах передачи тревожной информации с множественным доступом.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.

## **Введение:**

### Актуальность проблемы

Бурная информатизация общества привела к тому, что в последнее десятилетие произошел резкий скачок объема информации, передаваемой и обрабатываемой различными системами радиосвязи. Существенно увеличилось количество одновременно работающих радиосредств и систем связи различного назначения. В каждой отдельной системе значительно возросло число абонентов. Заметно поднялась скорость обработки и передачи информации. Все это потребовало повышения пропускной способности, показателей быстродействия и электромагнитной совместимости систем подвижной радиосвязи.

Наступил период, когда практически все системы радиосвязи вышли на предельный уровень нагрузки и ощутили потребность в повышении ресурса радиоканала. Усилия на уровне национальных и международных комитетов и комиссий по распределению ресурса радиоканала между различными системами, радиосредствами и службами оказались способными лишь на некоторое время снять остроту проблемы.

В качестве важнейшей тенденции решения проблемы повышения пропускной способности радиотехнических систем в последнее время выступает поиск новых усовершенствованных способов организации радиосвязи, задействование неиспользованных ресурсов существующих радиолиний. В сотовых сетях и системах связи подвижных абонентов одними из основных путей повышения пропускной способности являются: оптимизация территориального распределения частотного ресурса радиоканала, а также пространственной структуры сотового покрытия, поиск оптимальных методов обеспечения ЭМС, обеспечение более качественной и быстрой работы в режимах организации доступа, введения процедур контроля локальных перегрузок с последующим перераспределением ресурса.

Реализации перечисленных выше методов препятствует высокая сложность существующих алгоритмов, неразвитость информационных технологий в части подходов, позволяющих снизить указанную вычислительную сложность в реальных условиях, отсутствие решения вопросов, связанных с влиянием мобильности абонентов на основные характеристики систем подвижной радиосвязи.

Появление высокопроизводительных цифровых БИС с большой степенью интеграции открыло новые принципиальные возможности по созданию компактных устройств и комплексов автоматизированного решения указанных задач. Относительная простота сопряжения цифровых систем адаптивного управления ресурсом канала с другими цифровыми системами фактически решает проблему их включения в существующие и проектируемые интегрированные цифровые сети региональных, национальных и глобальных систем радиосвязи. Это объясняет то, что на первый план все отчетливее выступает проблема разработки соответствующих теоретических методов управления ресурсом радиоканала и анализа характеристик мобильности подвижных абонентов.

Главной особенностью систем подвижной радиосвязи (СПР) является подвижность абонентов системы и территориальная распределенность подсистемы радиодоступа. Эта особенность делает подчас невозможным использование для их исследования и проектирования научных результатов и инженерных методик, разработанных для телекоммуникационных систем фиксированной связи. Поэтому одной из актуальных задач является задача исследования области применения известных результатов теории массового обслуживания в части пропускной способности системы по трафику с учетом конфигурации подсистемы радиодоступа и характера мобильности абонентов. Такие исследования позволили сформулировать и решить задачу адаптивного управления каналным ресурсом в сотовых и низкоорбитальных спутниковых системах связи с учетом мобильности абонентов, а также задачу аналитического расчета режима хэндовера в них. Сформулированная выше особенность СПР предопределяет большие вычислительные сложности задач, возникающих при их проектировании, и особенно для систем поколений 2.5 G и 3G. Ярким примером могут служить две важнейшие задачи из области частотно-территориального планирования (ЧТП) СПР: определение наилучших, по большому перечню показателей, мест установки базовых станций, и выбор интермодуляционно-совместимых групп частот из большого (более 100) числа исходных номиналов частот. Учеными, работающими в указанной области, прилагаются достаточно серьезные усилия в поиске разрешения указанной проблемы с целью получения практически пригодных алгоритмов для использования их на практике. Примером могут служить источники [28,59], в которых отражены наиболее значимые результаты, полученные к настоящему времени Беблоком, по выбору максимальных групп интермодуляционно-совместимых частот из заданного множества равномерной сетки частот. Предельные значения их применимости ограничены объемом в 85 частот (в литературе приводится только одна полученная максимальная группа для заданного объема частот). В [165,179,192] указано довольно представительное число алгоритмов распределения частот для сотовых систем, однако все они построены на эмпирических или полуэмпирических подходах, не позволяющих гарантировать, даже приблизительно, оптимальный результат. Общего конструктивного алгоритма для любых СПР до сих пор так и не найдено. Все существующие в настоящее время расчетно-аналитические комплексы и алгоритмы имеют экспоненциальную вычислительную сложность или требуют активного использования интуиции проектировщика, основанной на богатом опыте и высоком профессионализме. Это предопределяет большую долю субъективизма в решении задачи и делает невозможным строгую оценку полученного решения в смысле оптимальности по выбранному критерию качества. Поэтому актуальной остается проблема создания алгоритмов для формализованного решения таких задач, имеющих вычислительную сложность не выше полиномиальной, и свободных от субъективного участия проектировщика.

Большое число нерешенных вопросов существует в СПР оперативного или производственно-технологического назначения. Как известно, система, позволяющая наиболее эффективно использовать выделенные радиоканалы (например, по критерию минимума среднего времени ожидания), является системой с равнодоступными каналами. В этой связи для оперативных сетей радиосвязи необходимо решить вопрос со структурой сети при случайном множественном доступе, а для радиосетей с пакетной передачей данных и "транкинговых" систем радиосвязи, в которых время сеанса связи соизмеримо со временем обмена служебной информацией, необходимо определить алгоритм управления свободными каналами. Большая часть работ по этому вопросу принадлежит советским ученым Цыбакову Б.С., Михайлову В.А. и др. [65-67, 122], однако вопрос централизованного управления режимом случайного множественного доступа до сих пор не рассматривался. Особую актуальность этот вопрос приобретает в связи с разработкой аппаратуры с

автоматическим поиском свободного канала, на основе которой строятся "транкинговые" системы, а также с разработкой и широким внедрением в последнее время радиотехнических систем передачи специализированной (телеметрической, тревожной и т. п.) информации.

Другой важный аспект проектирования, эксплуатации и исследования рабочих характеристик сотовых сетей и других СПР, составляет задача обнаружения и распределения по пространству спонтанно возникающих локальных концентраций нагрузки. Указанная проблема относится к новой области теории информации, изучающей пространственно-временные преобразования данных, распределенные алгоритмы управления, обработки, хранения, кодирования и доставки информации. Указанное направление в настоящее время только начинает активно развиваться. Причина этого состоит в том, что активный источник требований к соответствующим результатам возник сравнительно недавно в виде бурно развивающихся сотовых сетей связи и других систем, обладающих территориально распределенной структурой. Хотя общие идеи и пионерские работы, касающиеся указанной проблематики, возникли достаточно давно. На первом этапе они относились исключительно к изучению вопросов оптимизации распределенных поисковых усилий [5,6,37,121,187]. В дальнейшем они получили развитие на отдельные задачи, решаемые в системах обмена информацией. Наибольшее влияние в этом направлении оказали работы зарубежных авторов: Клейнрока Л. [47,48], Сипсера Р. [100], Мартина Дж. [61], Галлагера Р. [168], Мерлина П., Сегалла А. [177], Прабху Н. [183], Питерсона Дж. [78] и др. Среди отечественных работ к таким относятся труды Б.В. Гнеденко [24], М.А. Шнепса [126], Б.С. Лифшица, А.П. Пшеничникова А.Д. Харкевича [60], Е.И. Рухмана, Б.Я. Советова, С.А. Яковлева [96,102], В.А Кочегарова и Г.А. Фролова [51]. Однако работ, посвященных непосредственно вопросам влияния характеристик мобильности абонентов на рабочие параметры систем связи, а также обнаружению процессов скопления/рассасывания абонентов в локальных областях для предсказания перегрузок на ранних этапах пока нет. Более того, в теории массового обслуживания нет даже раздела, посвященного указанным вопросам, который бы можно было определить как раздел, изучающий нестационарные системы массового обслуживания. Этим объясняется важность решения такой задачи, как с точки зрения теории, так и с точки зрения практики. Для ее решения представляется перспективным использовать в качестве исходных методы статистической обработки нестационарных дискретных процессов, полученные в работах А.П. Трифонова, Ю.С. Шинакова и В.К. Бутейко [112,113,190].

Таким образом, анализ публикаций в исследуемой области показал отсутствие теоретических результатов по оценке эффективности применения указанных выше, достаточно сложных методов управления ресурсами канала и контроля мобильности, а также отсутствие конкретных выводов по потенциальным возможностям от их использования в тех или иных условиях. Это не позволяет судить о целесообразности их внедрения, оставляет без ответа вопрос о том, как именно нужно осуществлять соответствующее управление, и в каких ситуациях системы наиболее чувствительны к нестационарному поведению мобильных абонентов. Последнее обстоятельство существенно сдерживает широкое распространение на практике систем связи подвижных абонентов с адаптивным управлением пространственным распределением ресурсов. Таким образом, настоятельная потребность в применении новых высокоэффективных систем связи, использующих незадействованные до настоящего времени ресурсы радиоканала, с одной стороны, и отсутствие необходимых для этого теоретических проработок, с другой стороны, настоятельно требуют разработки перспективных методов управления ресурсами радиоканала и слежения за поведением мобильных абонентов, позволяющих в полной мере учитывать нюансы функционирования в системах массового обслуживания и проводить исследования для конкретных технических приложений.

## Цель и задачи работы

Целью работы является разработка научно обоснованных технических решений по повышению эффективности использования ресурса радиоканала в системах подвижной радиосвязи путем решения задач ЭМС, распределенного управления доступом и контроля мобильности абонентов. Внедрение этих решений вносит значительный вклад в развитие такой важной технико-экономической проблемы, как создание высокопроизводительных систем массового обслуживания подвижных абонентов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить комплекс теоретических, экспериментальных и прикладных задач:

- создать адекватные математические модели, описывающие отдельные элементы, структуры и операционные преобразования СПР, на основе которых провести синтез алгоритмов, позволяющих за реальное время счета находить решения ряда задач, возникающих при создании СПР, которые могут быть формализованы, как сложные комбинаторные задачи;
- разработать алгоритмы решения задачи формирования групп интермодуляционно совместимых частот в СПР различного назначения с произвольной территориальной структурой таких систем;
- разработать вероятностную модель СПР как системы массового обслуживания наиболее адекватную реальным ситуациям, учитывающую мобильное поведение абонентов;
- разработать алгоритмы территориального планирования сотовых систем нового поколения, обеспечивающие безызбыточное число базовых станций;
- исследовать режимы перегрузки сотовых систем связи с учетом мобильности подвижных абонентов;
- разработать математические модели мобильности подвижных абонентов в сотовых системах связи и на их основе синтезировать алгоритмы динамического управления каналным ресурсом;
- провести анализ характеристик полученных алгоритмов контроля динамически изменяющихся параметров мобильности абонентов для оценки достоверности принимаемых решений, точностей формируемых оценок параметров и времени реакции на возникновение критических ситуаций;
- осуществить частотно-территориальное планирование конкретных СПР в части интермодуляционной совместимости частот;
- разработать новые протоколы обмена информацией при управлении случайным множественным доступом и на их основе сформулировать рекомендации для создания усовершенствованных пакетных радиотехнических систем специального назначения;
- провести анализ дополнительного ресурса радиоканала сотовых сетей связи, связанного с многократным покрытием территории в пограничных зонах сот;
- разработать методы управления доступом и организации хэндовера, позволяющие реализовать дополнительный ресурс радиоканала в зонах перекрытий для повышения показателей рабочих характеристик;
- исследовать условия, при которых в многоканальных СПР возможна передача пакетов данных в канале, совмещенном с речевым;
- разработать алгоритмы множественного доступа в пакетных радиосетях в режиме управления доступом со стороны центральной станции;
- провести сопоставительный анализ для оценки выигрыша, обеспечиваемого в режиме активного управления доступом со стороны центральной станции;
- реализовать все предложенные алгоритмы в виде пакетов прикладных программ;
- сформулировать рекомендации по возможным направлениям дальнейшего развития полученных результатов в целях повышения эффективности использования ресурса радиоканала в СПР или для решения подобных задач в ряде других приложений.

## Общая методика исследований

Разрабатываемые в диссертации методы управления случайным множественным доступом и контроля мобильности подвижных абонентов в сотовых сетях и СПР базируются на использовании таких методов теории вероятностей, математической статистики и адаптивной обработки, как:

1. статистическое оценивание параметров с использованием критерия максимального правдоподобия;
2. обнаружение и идентификация ситуаций на основе решающих правил, отвечающих критерию Неймана-Пирсона, примененных к нестационарным системам массового обслуживания;
3. динамическое управление по Беллману;

При решении задач синтеза алгоритмов автоматизированного формирования групп интермодуляционно совместимых частот, формирования оптимизированной структуры расположения опорной сети базовых станций и анализа влияния параметров мобильности абонентов на основные характеристики системы использовались методы теории множеств, теории графов и теории массового обслуживания.

Анализ эффективности алгоритмов контроля мобильности в режимах автоматического обнаружения и идентификации проводился с помощью методов математического моделирования.

## Научная новизна и основные научные результаты

1. Разработаны конструктивные алгоритмы синтеза групп интермодуляционно-совместимых частот и территориального плана сотовых систем связи на основе применения теории монотонных систем;
2. Исследован вопрос влияния мобильности подвижных абонентов, как макропараметра, на вероятность перегрузки в сотовых системах связи, в результате чего получена формула расчета пропускной способности этих систем с учетом мобильности, что, при соответствующей организации, позволило повысить эффективность их использования;
3. Предложена математическая модель, учитывающая нестационарное поведение мобильных абонентов в пределах сот. Она позволила с единых позиций рассматривать характерные ситуации возникновения/рассасывания автомобильных пробок, флуктуаций потоков абонентов на выходах из станций метро, прохождения потоков через экранирующие туннели, синхронизирующих внешних условий массового порядка (сбои расписаний, концентрации людей в местах проведения массовых мероприятий и т.п.), и т.д.
4. Исследован вопрос динамики перегрузок, возникающих в сотовых системах связи из-за мобильности подвижных абонентов и синтезированы алгоритмы совместного обнаружения-оценивания параметров мобильности, позволившие заблаговременно предсказывать режим перегрузки и перераспределяя каналный ресурс, повысить пропускную способность систем.
5. Предложена оригинальная методика, расширяющая технику теории массового обслуживания на задачи с нестационарным поведением объектов, позволяющая решать большой класс новых задач, относящихся к системам с высокой динамикой поведения и к режимам переходного процесса, возникающим в системах массового обслуживания. Новый класс задач охватывает ситуации с нестационарным поведением интенсивностей входящего потока и потока обслуженных заявок.
6. Исследованы и определены условия организации структуры сети оперативной радиосвязи с множественным доступом, минимизирующие среднее время ожидания в сети.
7. Исследована возможность уплотнения пакетами данных каналов, освобождающихся от речевых сообщений в многоканальных СПР, что увеличивает объем обслуживаемой нагрузки.
8. Разработана математическая модель организации доступа, учитывающая возможность радиоперекрытия зон и определена методика расчета вероятности отказа доступа при использовании для этой цели дополнительного ресурса зон перекрытия в сотовых системах связи, что повышает пропускную способность таких систем.
9. В системах со случайным множественным доступом синтезирован оптимальный по Беллману алгоритм управления процедурой распределения свободных каналов среди активных подвижных абонентов.
10. Разработаны вычислительные алгоритмы синтеза радиосетей с оптимизированной структурой распределения ресурсов, имеющие полиномиальную сложность, позволяющие в комбинаторных задачах создания систем подвижной радиосвязи существенно сократить время счета.

## Практическая ценность работы

На основе полученных в диссертации методов синтеза и анализа алгоритмов распределения ресурса радиоканала, распределенного управления доступом и контроля мобильности предложены конкретные варианты построения или модификации целого ряда существующих и проектируемых систем. Результаты ориентированы на возможность осуществления практической разработки СПР как оперативного назначения, так и общего пользования с высокоэффективным использованием выделенного частотно-временного ресурса, что приводит к повышению технико-экономической эффективности таких систем (Приложение 6. «Акты внедрения результатов», Пр.№213 от 07.06.95 МВД РФ о принятии на вооружение системы «РОСА»).

Применение методов оптимизации распределения частотно-временного ресурса в СПР позволило:

- решить задачу частотно-территориального планирования сетей оперативной радиосвязи ГУВД г. Москвы в диапазонах 148/170 МГц, 205/210 МГц и 430У460 МГц;
- определить структуру сети оперативной радиосвязи ГУВД г. Москвы, работающей в режиме множественного доступа;
- решить задачу оптимизированного территориального планирования сотовых сетей связи третьего поколения 3G;
- решить задачу аналитического расчета пропускной способности сотовых сетей связи с учетом специфических условий режима хэндовера;
- решить задачу учета параметров мобильности подвижных абонентов при анализе пропускной способности сотовых сетей связи;
- решить задачу прогноза перегрузок сотовых сетей связи из-за изменения нагрузки сот в результате передвижения абонентов;
- рекомендовать группы частот для стандартов NMT-450, GSM-900 при проектировании сетей «Институтом сотовой связи» и ФГУП ГСПИ РТВ;
- синтезировать алгоритмы распределения групп частот и множественного доступа к каналному ресурсу в низкоорбитальной спутниковой системе «Гонец»;
- разработать асинхронный протокол обмена информацией в режиме случайного множественного доступа в канале, совмещенном с речевым для систем передачи тревожной информации, таких, например, как «РОСА»
- разработать алгоритмы быстрой коммутации свободных радиоканалов в многоканальных радиостанциях и «транкинговых» системах радиосвязи.

Результаты диссертационных исследований использованы при создании сетей оперативной радиосвязи ГУВД г. Москвы; в низкоорбитальной спутниковой системе связи ГОНЕЦ, в сотовых системах связи общего пользования первого, второго и третьего поколений, что подтверждается соответствующими актами внедрения. Предложенные технические решения защищены авторским свидетельством и патентом РФ. Результаты научных исследований использованы в Программе фундаментальных и прикладных исследований вузов связи Российской Федерации «Фундаментальные аспекты новых информационных ресурсосберегающих технологий» Министерства связи и информатизации РФ, проектных работах, проводимых ФГУП ГСПИ РТВ и «Институтом сотовой связи», в научно-исследовательских работах, проводимых ФГУП НИИР и при решении задач, стоящих перед крупными операторами сотовой связи (ОАО «Вымпелком»), Кроме того, результаты исследований нашли применение в учебном процессе на радиотехническом факультете МТУСИ [17,39,76,87,123,127,].

## Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 236 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка, 26 таблиц, библиография из 192 наименований на 11 страницах, материалы приложений на 109 страницах,

## Заключение:

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему

1. Впервые на основе единого математического подхода разработана методика, позволяющая применить общие методы теории монотонных систем [68,69] на решение задач формирования максимальных групп интермодуляционно совместимых частот. Установлено, что вычислительная сложность алгоритмов, синтезированных на основе разработанной методики, является полиномиальной, что обеспечивает качественный выигрыш относительно известных методов [34,99,160], обладающих экспоненциальной вычислительной сложностью. В частности, применение указанных алгоритмов в низкоорбитальной спутниковой системе связи «ГОНЕЦ» позволило решать задачу формирования максимальных групп интермодуляционно совместимых частот в режиме реального времени (задержка на решение не превышала 35 секунд для вычислительного узла на базе ПЭВМ Pentium III /850 МГц). Для систем подвижной радиосвязи, разработанная методика позволила решать задачи выделения максимальных групп интермодуляционно совместимых частот на множествах из нескольких сотен значений, в то время как наилучшие результаты для известных методов, которые были достигнуты Беблоком [99], не превышают уровня 85 частот и требуют расчетного времени порядка нескольких суток.
2. Впервые разработана методика, обобщающая теорию монотонных мер на параметрические множества, позволившая ее применить в задачах частотно-территориального планирования сотовых сетей. При этом качестве параметров предлагается рассматривать характеристики позиций возможного размещения БС на обслуживаемой территории, параметры антенн и радиооборудования, а также распределение интенсивности трафика по обслуживаемой территории. Параметрическое описание выступает в качестве дополнительных ограничивающих условий в решаемых задачах оптимизации. Результаты позволили формализовать процесс проектирования архитектуры частотно-территориальной структуры сетей и в качестве решения получать оптимальные, в смысле критерия минимума числа базовых станций, множества позиций размещения БС с сопутствующим им распределением рабочих частот. Выполненная формализация задачи впервые позволила установить, как именно могут быть для ее решения использованы известные методы прямого перебора. Для реальных ситуаций был проведен сопоставительный анализ вычислительных затрат, которыми обладают известные процедуры и алгоритмы разработанные на основе обобщенной методики монотонных мер. Показано, что для среднего города (в работе использован пример г. Иваново с 86 позициями возможного размещения БС) выигрыш по вычислительным затратам разработанных алгоритмов относительно стандартных методов проектирования составляет не менее чем на порядок, причем существующие методы используют субъективность решения проектировщика. Предлагаемые варианты организации решения поставленной задачи приводили к результату за 11.5 часов счета.
3. Разработана вероятностная модель СПР на уровне отдельной соты/зоны как системы массового обслуживания, которая учитывает не только статистику процесса поступления и обслуживания вызовов, но также случайный характер перемещений абонентов по обслуживаемой территории. Это позволило получить уточненные формулы, определяющие трафик СПР, а также получить результаты, устанавливающие границы применимости традиционных методов расчета нагрузочной способности с помощью таблиц Эрланга. Показано, что для высокоскоростных мобильных абонентов, начиная с микросотового покрытия, и для всех абонентов при пикосотовом покрытии традиционные методы расчета нагрузочной способности обладают заметной погрешностью (до 25-35%). Установлены характеристики мобильности, к которым нагрузочная способность системы наиболее чувствительна.

4. Впервые, с учетом явления возникновения ударных волн при внешних воздействиях на мобильные потоки, предложена общая параметрическая модель для описания широкого спектра ситуаций с нестационарным поведением мобильных абонентов в пределах выделенной зоны обслуживания. При этом мобильность впервые рассматривается как макропараметр. Установлено, что предлагаемая модель пригодна для описания таких явлений как: возникновение/рассасывание автомобильных пробок; скопления людей в местах массовых мероприятий, флуктуирующих потоков пассажиров на входах/выходах из метро; прохождения потоков через экранирующие тоннели; постепенного роста плотности абонентов в начале рабочего дня и уменьшения в конце и т.п. Проведен анализ такой модели, который показал, что она может быть классифицирована как нестационарный объект теории массового обслуживания. На этом основании сделан вывод о том, что разработанные в диссертации методы можно рассматривать как развитие общей теории массового обслуживания на задачи с нестационарным поведением объектов. Согласно обозначенному подходу, была поставлена и решена задача синтеза и анализа совместных алгоритмов обнаружения/идентификации/оценки параметров ситуаций с нестационарным поведением мобильных абонентов в рамках предложенной модели. На основе разработанной методики для конкретных случаев, характерных для сотовых сетей поколений 2G, 3G, получены численные значения времени реагирования системы на возникающие нестационарные режимы в поведении мобильных абонентов. Полученные результаты подтвердили возможность достоверного предсказания перегрузок за 100-150 секунд (в случаях резких скачков) и за 250 - 750 секунд (при плавном нарастании) до их проявления. Показано, что достаточным технологическим условием реализации разработанных алгоритмов в указанных системах, является поддержка в них функции контроля мобильности через стандартные процедуры хэндовера.
5. Впервые исследована возможность активации в сотовых сетях связи незадействованного ресурса радиоканала, связанного с территориальным перекрытием сот/зон обслуживания. Предложена новая методика адаптивного управления доступом, учитывающая эффект перекрытия сот с целью равномерного распределения нагрузки между БС. Анализ предложенной методики и разработанных на ее основе алгоритмов показал увеличение эффективности использования ресурса радиоканала в сотовых сетях стандарта GSM в условиях пиковых нагрузок до 25%. Получены расчетные формулы, позволяющие оценить выигрыш в абонентской емкости сотовых систем при использовании предлагаемых алгоритмов в режиме хэндовера.
6. Впервые предложены процедуры случайного множественного доступа для СПР с пакетной передачей данных, обладающие наилучшими показателями в смысле критерия максимума пропускной способности, синтезированные на основе стратегии управления по Беллману, применяемой в режиме распределения/разбиения свободных каналов центральной станцией. Показано, что их применение может снизить среднее время организации доступа по сравнению с общеизвестной процедурой «синхронная АЛОХА» на 50%.
7. Предложен ряд усовершенствований для режимов организации множественного доступа, совмещенной передачи речевых сообщений и потоков данных, адаптивной кластеризации, управления распределением частотного ресурса для конкретных сетей и систем связи.
8. Наиболее перспективными исследованиями в плане дальнейшего развития разработанного направления представляются: а) решение задачи синтеза оптимальных децентрализованных алгоритмов организации обмена для ПРС в условиях существенных ограничений абонентской информации об архитектуре прямых соединений и нагрузках в пределах ближней зоны. Такие алгоритмы откроют возможность практически безграничного увеличения размеров ПРС (в пространственном выражении и по числу пользователей), работающих в режиме децентрализованного управления, без заметного усложнения алгоритмов и вычислительных затрат; б) разработка базовых принципов и подходов дисциплины, обобщающей теорию информации, которая позволит не только решать вопросы передачи сообщений по каналам связи и кодирования данных, но и изучать с единых позиций произвольные пространственно-временные трансформации информации. В качестве конкретных приложений такой дисциплины в первую очередь должны рассматриваться задачи пространственно распределенной доставки сообщений, пространственно-временного кодирования и хранения данных, распределенного управления/поиска.

## Список литературы

1. Авдеева Л. В. Сети подвижной связи// Вестник связи. № 10, 1993.
2. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М.: Государственное издательство физ.-мат. литературы, 1963. 500 с.
3. Анпилогов В.Р. Немного о вреде сотового телефона и нормировании излучения. М.: Висат-Тел, 2001. Адрес статьи в Интернет: <http://www.vsat-tel.ru/sot-tel.htm>.
4. Анфилофьев С.А., Варакин Л.Е., Калмыков В.В., Шинаков Ю.С., Ярлыков М.С. CDMA: прошлое, настоящее, будущее/ Под ред. Л.Е. Варакина, Ю.С. Шинакова. М.: МАС, 2002. - 345 с.
5. Аркин В.И. Задача оптимального распределения поисковых усилий. Теория вероятностей и ее применения, 1964, 9, 1, С. 179-180.
6. Аркин В.И. Равномерно-оптимальные стратегии в задачах поиска. Теория вероятностей и ее применения, 1964, 9, 4, С. 746-753.
7. Аристархов Г.М., Ерохин Г.А., Николаев В.Т., Пантикян Р.Т., Шорин О.А., Система охранной сигнализации «РОСА»// Патент РФ № 2069055 от 19.7.94.
8. Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. М.: Радио и связь, 1988.
9. Барк Л.С., Большее Л.Н., Кузнецов П.И., Чернышев А.П. Таблицы распределения Релея-Райса ВЦ АН СССР, 1964.
10. Ю.Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика. М.: Изд-во РУДН, 2004. - 186 с.
11. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т1, 2. М.: Гос изд-во физ.-мат. литературы, 1960.
12. Берсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М. Мир, 1989. 544 с.
13. Блохин В.Г., Глудкин О.П., Губов А.И., Ханин М.А. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. М.: Радио и связь, 1997.-232с.
14. Богенс К., Ерохин Г.А., Шорин О.А. Развитие детерминистко-статистического подхода расчета радиополя в городе// Электросвязь, №2, 2001.
15. Бокк Г.О. Повышение эффективности работы систем связи на основе пространственно-временной обработки и спектрального анализа сигналов// Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МТУСИ, 2000. - 395 с.
16. Бокк Г.О., Бутейко В.К. Моделирование оценки длительности оптического сигнала // VIII выездной семинар секции теории информации ЦП НТО РЭС им. А. С. Попова. М.: Радио и связь, 1983, с. 14.
17. Бонч-Бруевич А.М., Панченко В.Е., Тамаркин В.М., Шорин О.А. Транкинговые системы радиосвязи// Учеб. пособие, ЗАО «Информсвязь», 1997. -96 с.
18. Бонч-Бруевич А.М., Тимин И.А., Шорин О.А. Создание систем радиопоиска и передачи дискретной информации на базе систем «Алтай» для сетей телекоммуникаций, городских служб, предприятий и банков// Тез. докл. Всероссийской НТК «Связь в деловой сфере», Москва,1992.
19. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М.: Изд-во РУДН, 1995.-529 с.
20. Быховский М.А. Частотное планирование сотовых сетей подвижной радиосвязи// Электросвязь, Москва, №8, 1993.
21. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия/ Гл. ред. Ю.В. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. - 910 с.
22. Гайнутдинов Т.А., Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г., Панченко В.Е., Шорин О.А. Сочетание статистических и детерминистских методов расчета радиополя в городских условиях// Электросвязь, № 4, 1998 .
23. Глик Ю.И., Дежурный И.И., Кузьмин В.С., Пышкин И.М., Шорин О.А. Аппаратура подвижной радиосвязи для агропромышленного комплекса/ Под ред. И.М.Пышкина. М.: Радио и связь, 1984. -248 с.
24. Гнеденко Б.В., Даниелян Э.А., Дмитров Б.Н., Климов Г.П., Матвеев В.Ф. Приоритетные системы обслуживания. М.: Из-во МГУ, 1973.
25. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. -М.: Наука, 1987.- 336 с.
26. Годин Р. Дж. Сети подвижной телефонной связи с сотовой структурой на этапе внедрения. Электроника. 1983. Т. 56, № 19. С.25 38.
27. ГОСТ 12252-86 (СТ СЭВ 4280-83) Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений.
28. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. -1108 с.
29. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: Эко-Трендз, 1998.-239 с.
30. Гуляев А.В. Исследование и разработка алгоритмов синтеза оптимальной структуры радиосети системы подвижной связи третьего поколения с кодовым разделением/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, МТУСИ, 2002, 145с.
31. Гуляев А.В., Шорин О.А. Синтез оптимальной сети радиодоступа WCDMA при известной модели нагрузки// «Электросвязь», № 9, 2002. С.33 38 .
32. Гуляев А.В., Дудукин С.Н., Тихвинский В.О. Особенности частотно-территориального планирования сетей подвижной связи третьего поколения// Мобильные Системы. №12, 2000.

33. Дежурный И.И. Сухопутная подвижная радиосвязь на службе народного хозяйства// Тез. докл. сессии, посвященной Дню Радио/НТОРЭС им. А.С. Попова М. 1984.
34. Дежурный И.И., Пышкин И.М., Семенихин В.С. и др. Сухопутная подвижная радиосвязь/ Под ред. И.М.Пышкина и В.С.Семенихина. М.: Радио и связь, 1990, 1 и 2-ая книги: 432 е., 328 с.
35. Демьянов А.И. Оценка параметров скачков нагрузки в сотовых сетях подвижной связи// Электросвязь, №1, 2002. С 33-36.
36. Джурбин Дж., Торноу Дж.Д. Протоколы пакетной радиосети DARPA//ТИИЭР, т.75, №1, январь, 1987, 26с. 40. Егоров А.И. Необходимые условия оптимальности для систем с распределенными параметрами. Матем. сб. 1969, 69, 3, С. 371-421.
37. Егоров А.И. Необходимые условия оптимальности для систем с распределенными параметрами. Матем. сб. 1969, 69, 3, С. 371-421.
38. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 384 с.
39. Журавлев В.И., Шорин О.А. Синтез радиотехнических систем. Часть 1// Метод, указания, МИС 1987. 44 с.
40. Закс Ш. Теория статистических выводов. М.: Мир, 1975. 776 с.
41. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 384 с.
42. Ибрагимов И.А., Хасьминский Р.З. Асимптотическая теория оценивания. -М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979.528 с.
43. Исследование вопросов ЭМС и разработка частотно-территориального плана для организации оперативной УКВ-радиосвязи ГУВД г. Москвы в диапазоне 430-460 МГц/ Отчет Т.311/92. Москва, МТУСИ, 1992.
44. Кротов Н.А., Шорин О.А. Экспериментальные результаты применения алгоритмов перераспределения нагрузки в сетях стандарта GSM.- М.: Труды МТУСИ , 2004.С.59-66.
45. Кротов Н.А., Шорин О.А. Results of Using Traffic Control Algorithms in Cellular Mobile Systems// 2nd IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications, Москва, 2004.
46. Калагер М. Б., Альтер Л. Ш., Рубенштейн Г. Р., Алексеев С. М. Электромагнитная совместимость при частотно-территориальном планировании сотовых частот радиотелефонной связи// Электросвязь, Москва, № 4, 1993.
47. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979.
48. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ./ Под ред. Б.С. Цыбакова. М.: Мир, 1979. - 600 с.
49. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1984.
50. Косинов М.И., Шорин О.А. Повышение емкости сотовой системы связи при использовании зон перекрытия// Электросвязь, № 3, 2003.
51. Кочегаров В.А., Фролов Г.А. Проектирование систем распределения информации. Марковские и немарковские модели. М.: Радио и связь 1991. -216 с.
52. Красовский И. Н. Теория управления движением. М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. литературы, 1968. 476 с.
53. Крейн М.Г., Нудельман А.А. Проблема моментов Маркова и экстремальные задачи. М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. литературы, 1973. 552 с.
54. Куликов Е.И., Трифонов А.П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. М.: Сов. радио, 1978. 296 с.
55. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1. (Серия: «Теоретическая физика», том 5). М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1976.-584 с.
56. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга. 1. -М.: Сов. радио, 1969. 752 с.
57. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга 2. -М.: Сов. Радио, 1968. 504 с.
58. Леман Э. Проверка статистических гипотез. Пер с англ. М.: Наука, 1964. -500 с.
59. Ли У.К. Техника подвижных систем связи/ Перевод с англ. под ред. И.М. Пышкина. М.: Радио и связь. 1991.
60. Лифшиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. М.: Связь, 1979.-254 с.
61. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных. М.: Финансы и статистика; Вып. 1, 1985. - 256 е.; Вып. 2, 1986. 269 с.
62. Материалы веб-сайтов: [www.celplan.com](http://www.celplan.com), [www.lstelcom.com](http://www.lstelcom.com), [www.forsk.com](http://www.forsk.com), [www.wavecall.com](http://www.wavecall.com)
63. Материалы веб-сайта: [www.sotovik.ru](http://www.sotovik.ru).
64. Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов. М.: Радио и связь. 1986 - 408 с.
65. Михайлов В.А., Цыбаков Б.С. Свободный синхронный доступ пакетов в широкополосный канал с обратной связью. Проблемы передачи информации. 1978, Т 14, №4, С. 32-59.
66. Михайлов В.А., Цыбаков Б.С. Эргодичность синхронной системы АЛОХА. Проблемы передачи информации. 1979. Т. 15, № 4, С. 73-88.
67. Михайлов В.А., Цыбаков Б.С. Верхняя граница для пропускной способности системы случайного множественного доступа. Проблемы передачи информации. 1981, Т 17, № 1, С. 90-95.

68. Муллат И.Э. Экстремальные подсистемы монотонных систем. 1. Автоматика и телемеханика, 1976, N5, С.130. <http://www.dataundering.com/download/extrem01-ru.pdf>
69. Муллат И.Э. Экстремальные подсистемы монотонных систем.2. Автоматика и телемеханика., 1976, N8, С. 169. <http://www.dataundering.com/download/extrem02-ru.pdf>
70. Низкоорбитальная космическая система связи «Гонец»// Эскизный проект, книга 3, часть 1.
71. Николаев В.Т., Пучков Г.Ю. Методика измерения нагрузки в сетях производственной радиосвязи/ Сб. научных трудов учебных институтов связи. Коммутация и управление потоками в сетях связи. Л.: ЛЭИС, 1987.
72. Николаев В.Т., Талызин В.Н. Теоретико-множественный подход к построению сетей подвижной радиосвязи//Радиотехника и электроника. Вып. 10, 1986, С. 1989-1998.
73. Обнаружение радиосигналов/ П.С. Акимов, Ф.Ф. Евстратов, С.И. Захаров и др.; Под ред. А.А. Колосова. М.: Радио и связь, 1989. - 288 с.
74. Панतिकян Р.Т. Метод разнесенного по времени приема// Радиотехника. №10, 1983.
75. Панतिकян Р.Т., Шорин О.А. Синтез сети подвижной радиосвязи с множественным доступом. // Труды НИИР. 1986, № 4. С. 60-66.
76. Панतिकян Р.Т., Шорин О.А. Проектирование систем подвижной радиосвязи// Учеб. пособие, МИС 1987. 52 с.
77. Панतिकян Р.Т., Шорин О.А. Способ радиосвязи с подвижными объектами в системе связи сотовой структуры// А.С. № 1626412 от 13.01.89.
78. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. - 264 с.
79. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер с англ./ Под ред. Кловского Д.Д. М.: Радио и связь. 2000. - 798 с.
80. Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справочник/ С.А. Аничкин, С.А. Белов, А.В. Бернштейн и др.; Под ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешова. М.: Радио и связь, 1990. - 504 с.
81. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. литературы, 1979.-496 с.
82. Пышкин И.М. Теория кодового разделения сигналов. М.: Связь, 1980.
83. Пышкин И.М., Панतिकян Р.Т., Шорин О.А. Эффективность частотного и кодового разделения в цифровых системах радиосвязи// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989 .
84. Пышкин И.М., Пинский А.И., Федулов М.В., Шорин О.А. Пакетная передача данных в радиосистемах с равнодоступными каналами// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989.
85. Пышкин И. М., Талызин В. Н. и др. Системы подвижной радиосвязи. М.: Радио и связь, 1986. - 326 с.
86. Пышкин И.М., Шорин О.А. Обнаружение сигнала на фоне помех с неизвестной плотностью распределения//Труды НИИР, №4, 1982.
87. Пышкин И.М., Шорин О.А. Асинхронная адресная система связи с частотно-временным разделением// Описание лаб. работы, МИС, 1986. 20 с.
88. Пышкин И.М., Шауро А.В., Шорин О.А. Автоматические системы определения местоположения подвижных объектов// ЦНИТИ Информсвязь. Эксплуатация средств связи. Серия. Радиосвязь, радиовещание, телевидение. Экспресс инф., вып. 5, 1981
89. Разработка перспективной системы оперативной радиосвязи органов внутренних дел и исследование возможностей ее аппаратурной реализации. Отчет. НИИСТ МВД СССР. Инв. № 75, 1986.
90. Разработка предложений по совершенствованию ССПО ОВД на базе существующей аппаратуры. Отчет. Москва, МИС, 1984 г.
91. Разработка устройств и методов, обеспечивающих электромагнитную совместимость в системе спутниковой связи". Отчет. Тема № 310/91, МЭИС 1991 г.
92. Рекомендация 478-3. Технические характеристики аппаратуры и принципы распределения частотных каналов между 25 и 1000 МГц для сухопутной подвижной службы// Документы XVI пленарной ассамблеи МККР, 1986.
93. Розанов Ю.А. Лекции по теории вероятностей. М: "Наука", 1986.
94. Рубенштейн Г.Р. Оценка условий ЭМС радиосредств, исключающих интермодуляционные помехи в сотовых системах подвижной радиосвязи// Труды XI Вроцлавского симпозиума по ЭМС, 1992.99.
95. Румер Ю.Б., Рыбкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1977. - 552 с.
96. Рухман Е.Л., Советов Б.Я., Яковлев С.А. Обслуживание потоков сообщений в системах передачи информации. Л.: изд. ЛЭТИ, 1977. -107 с.
97. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. -М.: Сов. Радио, 1971. 520 с.
98. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.-432 с.
99. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ/ Под ред.У.К. Джейкса. Пер. с англ. Под ред. М.С. Ярлыкова, М.В. Чернякова.-М.:Связь, 1979. 520 с.

100. Сипсер Р. Архитектура связи в распределенных системах. Ч. 1,2.- М.: Мир, 1981.744 с.
101. Смирнов А.А. Персональная Спутниковая Связь// Технологии электронных коммуникаций.-1996. С. 97.
102. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. Л.: Машиностроение, 1990. - 332 с.
103. Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. -М.: Сов. радио, 1978. 320 с.
104. Справочник по спутниковой связи и вещанию/ Под ред. Л.Я. Кантора. М: Радио и связь. 1988.
105. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов. радио. 1975. - 424 с.
106. Сухарев А.Г., Тихомиров А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. М.: Физматгиз, 1986, с.278.
107. Теория телетрафика/ Перев. с нем. под ред. Г.П. Башарина. С.61-80.
108. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983. -320 с.
109. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М.: Сов. радио, 1977. -488 с.
110. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. - 608 с.
111. Трифонов А.П. Обнаружение сигналов с неизвестными параметрами// Теория обнаружения сигналов. М.: Радио и связь, 1984, С.12.
112. Трифонов А.П., Бутейко В.К. Прием сигнала с неизвестными амплитудой и длительностью на фоне белого шума. Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1984, т. 27., № 8, С. 28-34.
113. Трифонов А.П, Шинаков Ю.С. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. -. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
114. Уайт Р. Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи/ Пер. с англ. М.: Сов. радио.
115. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977, 570 с.
116. Уолрэнд Дж. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Мир, 1993. -336 с.
117. Фадеев Д.К., Фадеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. -СПб, Изд-во «Лань», 2002.- 736 с.
118. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т.2. М.: Мир, 1967,478 с.
119. Харари Ф., Палмер Э. Перечисление графов. М.: Мир, 1977.
120. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. -М.: Статистика, 1980.
121. Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска/ Пер. с англ. под ред. Н.Н. Моисеева. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. -248 с.
122. Цыбаков Б.С. Случайный множественный доступ. Препринт ИППИ, М; ИППИ АН СССР, 1984.
123. Шахгильдян В.В., Пестряков А.В., Шорин О.А. Опыт МТУСИ в подготовке специалистов в области мобильных систем связи// Мобильные системы»,№ 8, 2000.
124. Шенон К. Работы по теории информации и кибернетике/ Пер с англ. Под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. М.: Иностранная литература, 1963.
125. Шень А. Программирование: теоремы и задачи. М.:МЦНМО, 1995, 264 с.
126. Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета. М.: Связь, 1979.-342 с.
127. Шинаков Ю.С., Сергеев Л.В., Шорин О. А. Организация групповых занятий на измерительно-вычислительном комплексе ИВК-6/ Метод, указания, МИС, 1989.-24 с.
128. Шорин О.А. Исследование помехоустойчивости радиотракта с ретранслятором для систем местоположения подвижных объектов// Труды НИИР, № 2, 1983.
129. Шорин О.А., Федулов М.В. Анализ необходимости пространственно-частотной адаптации сотовых систем подвижной радиосвязи// Радиотехника, № 6,1989.
130. Шорин О.А., Николаев В.Т., Пантикян Р.Т. Метод частотного планирования систем радиосвязи// Радиотехника, № 3, 1991.
131. Шорин О.А., Федулов М.В. Пакетная передача данных в многоканальных системах подвижной радиосвязи// Радиотехника, № 3, 1992.
132. Шорин О.А. Метод частотно-территориального планирования // Электросвязь, № 10, 1993.
133. Шорин О.А. Оптимальная процедура распределения каналов в системах подвижной радиосвязи//Электросвязь, 1993, № 10, С. 14-16.
134. Шорин О.А., Пантикян Р.Т. Оптимизация структуры сигнала в радиотехнической системе передачи тревожной информации// Электросвязь, № 11, 1994.
135. Шорин О.А., Николаев В.Т. Выделение групп интермодуляционно-совместимых частот для сотовых систем связи стандарта NMT-450// Электросвязь, № 8, 1995.
136. Шорин О.А., Тамаркин В.М., Хусайн Х. Частотно-территориальное планирование в низкоорбитальных спутниковых системах связи// Электросвязь, №9, 1998.
137. Шорин О.А. Вероятность перегрузки сотовых систем связи с учетом подвижности абонентов // Электросвязь», №5, 2004.
138. Шорин О.А. Оценка параметров мобильности абонентов в сотовых системах связи// «Электросвязь», №11, 2004.
139. Шорин О.А. Прогноз перегрузок с учетом подвижности абонентов в сотовых системах связи//

140. Мобильные системы, №1, 2005.
141. Шорин О.А., Панتيбян Р.Т. Способ организации цифровой сотовой СПР// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989.
142. Шорин О.А., Пантибян Р.Т., Федулов М.В. Синтез радиосетей с ограниченной доступностью абонентов к радиоканалам// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы» Москва, 1989.
143. Шорин О.А., Пантибян Р.Т., Николаев В.Т., Черкасов В.И. Алгоритм частотно-территориального планирования СПР// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989.
144. Шорин О.А., Пинский А.И. Оптимальный множественный доступ в многоканальных системах связи// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989.
145. Шорин О.А., Пинский А.И., Куликов И.А. Модель цифровой СПР в задаче коммутации радиоканалов// Тезисы докл. Всесоюзной НТК «Интегральные информационные системы», Москва, 1989.
146. Шорин О.А., Николаев В.Т., Пантибян Р.Т. Основные составляющие алгоритма выделения интермодуляционно независимых частот// НТК общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова "Элементы и узлы современной приемно-усилительной аппаратуры". Москва. 1990 г.
147. Шорин О.А., Пантибян Р.Т. Выбор структуры сигнала в радиотехнической системе передачи тревожной сигнализации с множественным доступом// Тез. док. XXIII Международной конф. «Новые информационные технологии в образовании и бизнесе», Гурзуф, 1996.
148. Шорин О.А., Хусайн Х. Анализ протокола доступа в радиоканал в низкоорбитальных спутниковых системах для передачи тревожной информации// Тез. док. Межд. конф. и диск, научного клуба «Нейросетевые технологии обработки информации», Гурзуф, 1997.
149. Шорин О.А., Математическая модель системы подвижной радиосвязи// Тез. док. Межд. конф. и диск, научного клуба «Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе», Гурзуф, 1997.
150. Шорин О.А. Оценка абонентской емкости в сетях беспроводного доступа на основе технологии CDMA и прогноз их развития в России// Труды меж. Конф. «CDMA800 в России», Кипр, Лимассол, ноябрь 1998.
151. Шорин О.А. Оценка абонентской емкости систем стандарта DECT и прогноз их развития в России// Труды межд. конф. «DECT в России» Афины, Греция, апрель 1999.
152. Шорин О.А. Информационные технологии в сетях подвижной связи третьего поколения// Труды межд. конф. «Экономика и системные решения 2G/3G в России», Кипр, апрель, 2001.
153. Шорин О.А., Тимофеев И.М. Алгоритм планирования радиочастот// Труды межд. конф. «Телекоммуникационные и вычислительные системы», Москва, МТУСИ, 28 ноября 2001.
154. Шорин О.А. Оптимизация структуры радиосети системы UMTS //Труды межд. конф. «Мобильные сети связи 2G/2.5G/3G. Тенденции. Технологии. Экономика. Качество. Услуги.» Мадейра, ноябрь 2002.
155. Шорин О.А., Гуляев А.В. Новые технические требования к проектированию подсистемы радиодоступа сетей 3G по сравнению с сетями 2G// Труды конференции «Мобильная связь XXI века: 2G/2.5G/3G», апрель 2002, Кипр.
156. Шорин О.А. Повышение пропускной способности сотовых систем связи// Труды межд. конф. «Мобильный бизнес: технологии и регулирование», Италия, Неаполь, 2004.
157. Шорин О.А. Техническое обеспечение реализации конвергированных услуг в сотовых сетях// Труды Международной конференции «Мобильный бизнес: услуги, платежи, контент», Греция, Родос, 2004.
158. Шорин О.А. Конвергенция услуг в сотовых сетях связи// Труды Международной научно-практической конференции «Информационные технологии нового поколения в индустриальном регионе», Кемерово, октябрь 2004.
159. Шорин О.А. Мониторинг возможных перегрузок в сотовых системах связи// Труды XVII Международной конференции «Мобильный бизнес. тенденции и технологии», о. Сицилия, Италия, 2005.
160. Шорин О.А., Тихвинская М.В., Маслов С.А. Definition of the channel resource of communication cellular systems in view of subscribers mobility. «16 th International Symposium & Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility», February 13-18, 2005
161. Электромагнитная совместимость. Материалы 6-го Международного симпозиума (Польша), 1982 г.
162. F. Vox. A heuristic technique for assigning frequencies to mobile radio nets. IEEE Trans. Vch. Technol, Vol. VT-27, No 2, pp.57-64, May, 1978.
162. F. Vox. A heuristic technique for assigning frequencies to mobile radio nets. IEEE Trans. Vch. Technol, Vol. VT-27, No 2, pp.57-64. May, 1978.
163. G.K. Chan Interference analysis of a land mobile cellular radio system// 6-th Symposium on EMC. Zurich, 1985, pp. 469-474.
164. R. Chandler, R. Herman, E. Montroll. Traffic dynamics: Studies in car-following// Oper. Res., 6, 1958.
165. G. Couvreur, M. Delfour. Optimum frequency assignment strategies for radio cellular systems// Proc. 6th Symo. Tech. Ech. Electromagn. Compat, (Zurich, Switzerland), March 5-7, 1985.
166. M.C. Delfour, G.A. Couvreur. Interference Free Assignment Grids - Part 1: Basic Theory (pp 280-292), - Part 2: Uniform and Nonuniform Strategies (pp 293-305). IEEE, EMC, Vol. 31, No 3, August, 1989.

167. Draft New Report ITU-R M. IMT.Trends.// ITU Document 8/2-E, Annex-4, 27 October 2003.
168. R. Edwards, J. Durkin, D. H. Green. Selektion of intermodulation free frequencies for multiple-channel mobile radio systems//PIE, 1969, vol. 116, No 8.
169. R. Gallager. Minimum delay routing algorithm using distributed computation// IEEE Trans., on Commun. 1977. - V. COM - 25. - N.1. - P. 73 - 85.
170. H. Greenberg. An analysis of traffic flow// Oper. Res., 7, 1959.
171. R. Herman, E. Montroll, R. Potts, R. Rothery. Traffic dynamics: Analysis of stability in car flowing// Oper. Res., 7, 1959.
172. H. Holma, A. Toskala. WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communicatons. / London: Wiley, 2001.
173. T. Janevski. Traffic Analysis and Design of Wireless IP Networks. Artech House, Inc.(mobile communications series)/ Boston-London, 2003 368 p.
174. E. Komentani, T. Sasaki. On the stability of traffic flow// Oper., Res., 2, 1958.
175. J. Laiho, A. Wacker. WCDMA Radio Network Planning/ London: Wiley, 2002.
176. J. Laiho et al. Radio Network Planning and Optimization for UMTS/ London: Wiley, 2002.
177. J. Litva. Digital Beam forming in Wireless Communications. Artech House, Boston-London, 1996.
178. P. Merlin, A. Segall. A failsafe distributed routing protocol// IEEE Trans., on Commun. 1979. - V. COM - 27. - N.9. - P. 1280 - 1287.
179. Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 to 3000 MHz / Recommendation ITU-R P.1546. 2001.
180. B.H. Metzger. Spectrum Management Technique// Presented at the 38th National ORSA Meeting, Detroit, MI, Fall 1970.
181. G. Newell. Nonlinear effects in the dynamics of car-following// Oper. Res., 9, 1961.
182. T. Ojanpera, R. Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. London: - Artech House Publishers, 1998.
183. R. Prasad, W. Mohr, W. Konhauer. Third Generation Mobile Communication Systems. London: Artech House Publishers, 2000.
184. N.U. Prabhu. Stochastic storage processes. Queues, insurance, risk and dams. -New York: Springer Verlag, 1980.
185. Procedures for simulation mature deployment of cellular networks in the mobile service/ Doc ITU-R 8F/24-E. 2000.
186. Radio Transmission and Reception// ETSI/TC GSM, GSM 03.05 Ver. 3.13. GSM Recommendation: 05.05, March 91.
187. P. Richards. Shock waves on the highway// Oper. Res. 4, 1956.
188. L.D. Stone. Theory of optimal search. Academic Press, 1975.
189. Technical Performance Objectives// ETSI/TC GSM, GSM 03.05 Ver. 3.2.0. GSM Recommendation: 03.05, October 91.
190. The Future Mobile Market: Global trends and developments with a focus on Western Europe/ UMTS Forum Report № 8, 1999.
191. A.P. Trifonov, V.K. Buteiko, G.O. Bokk. Efficiency of Testing of the Change in the Poisson Flow Intensity// Second IFAC Symposium on Stochastic Control. Part II. - Vilnius, USSR. - May, 1986. - P. 249 - 254.
192. UMTS/IMT-2000 Spectrum / UMTS-Forum Report №6, 1998.
193. J.A. Zoellner. Frequency assignment games an strategies, IEEE. Trans.Electromagn, compat., vol.EMC-15, No. 4, PP. 191-196, Nov. 1973.