

На правах рукописи

**Туляков Юрий Михайлович**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДВИЖ-  
НОЙ РАДИОСВЯЗИ**

Специальность 05.12.04. - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва 2015 г.

Работа выполнена на кафедре «Телевидения и звукового вещания» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский технический университет связи и информатики».

**Научный консультант** **Венедиктов Михаил Дмитриевич**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ  
ВПО Московский технический университет связи  
и информатики, г. Москва.

**Официальные оппоненты: Флакман Александр Григорьевич**  
доктор физико-математических наук, профессор,  
кафедры бионики и статистической радиофизики,  
ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний  
Новгород.

**Ложкин Леонид Дединович**  
доктор технических наук, доцент кафедры ос-  
нов конструирования и технологий радиотехни-  
ческих систем, ФГБОУ ВПО «Поволжский госу-  
дарственный университет телекоммуникаций и  
информатики», г. Самара.

**Приоров Андрей Леонидович**  
доктор технических наук, доцент кафедры  
динамики электронных систем, ФГБОУ ВПО  
Ярославский государственный университет  
им. П.Г. Демидова», г. Ярославль.

**Ведущая организация:** АО «Концерн «Созвездие», г. Воронеж.

Защита состоится «25» ноября 2015 г. в 14.00 часов на заседании диссер-  
тационного совета Д212.025.04 при ФГБОУ ВПО Владимирский государствен-  
ный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых- (ВлГУ) по адресу: 600000, Владимир, ул. Горького, 87, корпус.3,  
ауд. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на  
сайте <http://www.vlsu.ru>.

Автореферат разослан «20» июля 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Современное развитие средств связи ориентировано на постоянный рост объема и повышение скорости передачи данных. Особенно это наблюдается в подвижной наземной связи (ПНС), чем, главным образом, обуславливается разработка и внедрение радиосистем ПНС третьего (3G) и четвертого (4G) поколений.

Особенность передачи данных в системах ПНС в значительной степени определяется требованиями к надежности связи с подвижными абонентами, проблематичность достижения которой обуславливаются сложной многолучевой флуктуирующей структурой распространения радиоволн и случайным характером радиопомех в канале базовая станция (БС) – абонентская станция (АС).

Эти условия должны учитываться при выборе способов передачи данных в ПНС не только в отдельно взятой системе, но и при объединении систем в сети. При всем многообразии принятых стандартов этих способов проблема выбора методов для получения требуемой надежности связи в зоне действия систем ПНС и ее оценки является актуальной, решение которой может осуществляться не только оптимизацией конфигурации построения сети БС, но и рекомендациями к методам передачи радиосигналов.

Другой проблемой ПНС является определение методов повышения надежности передачи данных при взаимодействии систем радиосвязи различного типа. Особая, целенаправленная востребованность решения такой проблемы возникает при применении систем ПНС для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

При решении этих проблем следует учитывать особенности и задачи организации как адресной, так и широковещательной передачи данных, реализация которой определяется способами формирования сигналов вызова, и в том числе за счет специальных систем радиовызова. Все эти проблемы должны рассматриваться на основе современных принципов и достижений теории передачи

данных, которые в итоге позволяют произвести оценку территориальной информатизации населения.

Решение обозначенных выше проблем ПНС требует проведения дополнительных исследований, основные из которых можно сформулировать следующим образом.

С целью определения тенденций и перспективного развития передачи данных в ПНС необходимо проведение анализа и обобщенной оценки существующих способов и характеристик передачи данных во всевозможных системах ПНС. Для такого обобщенного анализа требуется определение структурной универсальной (обобщенной) схемы существующих систем ПНС общего пользования.

Одной из первых систем передачи данных ПНС можно считать пейджинг (систему персонального радиовызова – СПРВ), основное назначение которого - передача вызова с сообщением адресно («персонально») конкретному абоненту. В связи с этим СПРВ можно рассматривать как изначальную «базовую» для указанной выше обобщенной схемы (модели) передачи данных в ПНС. В настоящее время, несмотря на то, что популярность пейджинга, как массового средства связи, снизилась, наметилась его переориентация для использования службами МЧС и, в частности, для экстренного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях с возможностью широковещательной передачи вызовов.

Для определения возможных способов реализации СПРВ необходимо проведение сравнительного анализа вариантов построения таких систем, исследование методов формирования сигналов радиовызова и их помехоустойчивости в условиях, когда время их приема конкретному адресату значительно меньше времени ожидания вызова. Исследованиям также подлежат характеристики, методы и критерии взаимодействия систем радиовызова с телефонными сетями общего пользования. Необходима разработка алгоритмов и способов межсистемного взаимодействия СПРВ в сетях от регионального до межгосударственного уровней. Важным вопросом повышения надежности передачи вызовов является изыскание способов квитирования приема радиовызовов.

Одним из важнейших параметров, определяющим организацию и принципы построения систем связи, является величина обслуживаемого ими трафика. Для определения этого параметра в ПНС необходимы статистические исследования объема трафика передачи данных с учетом специфики их передачи для таких практически значимых систем как СПРВ и сотовой связи. Причем результаты этих исследований в отличие от традиционных статистических оценок должны учитывать долгосрочную динамику трафика и, независимо от вида предоставляемых услуг связи, характеризовать их как совокупность передаваемых данных, нормированных на одного активного абонента, что позволило бы применить эти результаты для оценки трафиковых характеристик систем с различной абонентской емкостью.

Как отмечалось выше, повышение скорости передачи данных является одним из направлений развития средств связи. Несмотря на общеизвестные применяемые методы повышения скорости передачи данных в ПНС, практически полезным является вопрос поиска оригинальных способов повышения скорости передачи, и, в частности, за счет совместного использования ряда взаимодействующих радиоканалов. Немаловажным вопросом для построения систем ПНС и, особенно, сотовой связи является аналитическая оценка способов расширения зоны действия БС.

Построение любой радиосистемы и, в том числе, ПНС определяется частотно-энергетическими характеристиками распространения радиоволн. В системах ПНС используются, в основном, радиоволны диапазонов ОВЧ (очень высоких частот) и УВЧ (ультравысоких частот), наиболее сложная структура распространения которых проявляется в условиях города. Для таких условий требуется оценка пространственных флуктуаций уровня радиосигнала. Современным требованием систем ПНС является надежная связь в помещениях зданий. В связи с этим необходимы исследования пространственной флуктуирующей структуры и затуханий уровня радиосигналов при их проникновении в помещения зданий. Результаты этих исследований позволят ввести соответствующую коррекцию в существующие модели распространения сигналов для более

точного прогнозирования уровня сигналов в зоне действия систем ПНС и уточнения влияния радиопомех на прием сигналов.

Как отмечалось выше, важной характеристикой передачи данных в ПНС является надежность связи. Целесообразно ее рассматривать как пространственную (территориальную – по зоне действия радиосистемы) надежность при заданной помехоустойчивости приема радиосигналов. С учетом вышеуказанных особенностей распространения радиоволн необходимо применение и исследование многопараметрической оценки такой надежности с определением ее зависимости от расстояния до базовой станции.

Четкое представление территориальной (пространственной) надежности позволяет изыскать методы ее повышения. В данной работе предлагается метод, основанный на применении в зоне действия ПНС взаимодействующих радиосистем с различной территориальной организацией их радиосети, Особое практическое значение такого взаимодействия имеет для двух видов широко применяемых радиосистем – с радиальным и сотовым построением. Для обоснования эффективности такого метода необходима его аналитическая и алгоритмическая оценка, особая важность которой имеет в условиях применения радиальной системы как дополняющей сотовую систему.

Другим предлагаемым дополнительным способом повышения надежности, требующим анализа, является использование метода «диапазонно – частотного» разнесения радиоканалов взаимодействующих систем и конкретно - радиальной и сотовой.

Оценка практического внедрения указанных выше методов повышения надежности связи с детальной разработкой алгоритмов межсистемного хендвера может быть дана на примере взаимодействия пейджинговой и сотовой сетей для режима передачи коротких сообщений.

Развитие указанных выше методов и способов имеет особое значение при их использовании в системах экстренного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях. При этом необходимо решение задач комплексного совместного использования систем ПНС с существующими видами оповещения, а для мас-

сового оповещения населения, необходимы изыскания по организации каналов ПНС для широковещательной передачи сообщений с оценкой скорости этой передачи.

Данная работа посвящена проблеме развития методов повышения надежности передачи данных в системах подвижной наземной радиосвязи и применения этих методов для экстренного оповещения населения.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы заключается в определении способов и параметров реализации систем радиовызова, разработке и исследовании методов оценки и повышения надежности передачи данных в подвижной наземной связи с изысканием видов их применения для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих основных задач.

1. Определение универсальной (обобщенной) схемы передачи данных в подвижной наземной связи (ПНС), оценка эволюции и перспектив методов передачи данных в ПНС по скоростным параметрам.

2. Определение и исследование методов построения систем радиовызова, характеристик радиосигналов вызова, изыскание способов повышения их надежности передачи-приема и критериев для обоснованного выбора способа взаимодействия таких систем с телефонными сетями с разработкой методов и алгоритмов роумингового взаимодействия систем радиовызова в многорегиональных, федеральных и межгосударственных сетях.

3. Исследование статистики передачи данных в различных системах ПНС, аналитическая оценка и обоснование методов повышения скорости передачи данных и увеличения зоны действия базовой станции (БС) в ПНС.

4. Исследование характеристик распространения радиоволн ПНС в условиях города и в том числе при проникновении их в помещения зданий.

5. Определение многопараметрического подхода к оценке территориальной (в зоне действия ПНС) надежности при заданной помехоустойчивости и зависимости этой надежности от расстояния до БС.

6. Разработка методов повышения территориальной надежности связи за счет комплексного адаптивного взаимодействия в зоне действия ПНС радиосистем с различной территориальной организацией их радиосети, в том числе взаимодействующих сотовых и радиальных систем, и определение вариантов применения этих методов для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

**Объектом исследования** стали проблемные с точки зрения повышения надежности и скорости передачи данных радиointерфейсы систем подвижной наземной связи, инструментальные средства и технологии взаимодействия этих систем.

**Предметом исследования** являются: сигналы радиовызова и передачи данных, характеристики распространения радиоволн, трафик передаваемых данных, надежность передачи данных в зоне действия радиосистемы, методы взаимодействия систем радиосвязи для повышения надежности связи и оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

При выполнении работы применялись следующие **методы исследований**: структурный анализ построения систем передачи данных, принципы внутрисистемного и внешнего доступа в системах связи, функции комбинаторики, элементы теории телетрафика, методы теории вероятностей, теории помехоустойчивости и кодирования сигналов, статистический анализ случайных процессов, аппарат синтеза алгоритмов внутрисистемных и межсистемных взаимодействий.

#### **Научная новизна работы:**

1. Определены обобщенная структурная схема передачи данных для систем ПНС и тенденции развития передачи данных для систем и сетей ПНС с аналитической оценкой методов формирования радиосигналов по возможным видам, объемам и скоростям передаваемой информации.

2. Дан анализ способам построения систем радиовызова, определены параметры сигналов и радиоканалов вызова в зависимости от абонентской емкости систем, условий их взаимодействия с телефонными сетями общего пользования и получено теоретическое обоснование помехоустойчивости сигналов радиовы-



зова для различных видов адресного кодирования при преобладании требований к вероятности ложного вызова по сравнению с вероятностью пропуска вызова.

3. Разработан метод повышения надежности передачи радиосигналов вызова за счет внедрения квитирования принимаемых сообщений абонентским устройством (приемником) вызова, отличающийся от известных методов применением микромощных квитирующих радиосигналов.

4. Полученные результаты статистических исследований трафика передачи данных в ПНС (в СПРВ и сотовых системах), отличающиеся от традиционных статистических оценок учетом долгосрочной динамики трафика и, независимо от вида предоставляемых услуг связи, позволяют характеризовать трафик этих услуг в виде совокупности передаваемых данных.

5. Уточнены и дополнены существующие данные о характеристиках распространения электромагнитных волн ОВЧ и УВЧ диапазонов со сложной многолучевой структурой в условиях города. Уточнены параметры пространственной флуктуирующей уровневой структуры таких волн, разработан косвенный метод измерения медианного уровня электромагнитных волн и определены статистические характеристики затухания уровня радиоволн при их проникновении в различные помещения зданий.

6. Предложен многопараметрический системный подход к оценке надежности связи как «территориальной надежности передачи данных (связи) при заданной помехоустойчивости» и определена зависимость такой надежности от расстояния до БС. Для конкретных видов радиосигналов исследованы взаимосвязи территориальной надежности и помехоустойчивости передачи-приема радиосигналов в ПНС.

7. Предложено для повышения территориальной надежности связи применение комплексного адаптивного взаимодействия систем ПНС с различной структурой построения радиосетей. Разработан метод повышения территориальной надежности за счет взаимодействия радиальных и сотовых систем и предложен метод «диапазонно-частотного» разнесения взаимодействующих радиоканалов.

8. Разработаны структурные и алгоритмические схемы комплексного взаимодействия средств оповещения и систем ПНС, определены способы формирования и основные скоростные характеристики передачи сигналов систем ПНС для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

### **Практическая значимость работы:**

1. Проведенная оценка развития передачи данных в различных системах и сетях ПНС с анализом методов формирования радиосигналов для различных скоростей передачи данных позволяет определить тенденции развития ПНС по возможным видам, объемам и скоростям передаваемой информации. Предложенная обобщенная структурная схема передачи данных для систем ПНС позволяет дать оценку той или иной системы с позиции внутрисистемного и внешнего доступа

2. Проведенный анализ способов построения систем радиовызова с определением параметров сигналов и радиоканалов вызова в зависимости от абонентской емкости систем, условий их взаимодействия с телефонными сетями общего пользования и теоритическое обоснование помехоустойчивости сигналов радиовызова для различных видов кодирования при преобладании требований к вероятности ложного вызова по сравнению с вероятностью пропуска вызова позволяют обоснованно решать задачи построения и оценки функционирования существующих систем радиовызова от локальных до межгосударственных уровней и в том числе для использования таких систем для оповещения населения.

3. Разработанный метод квитирования приема сообщений абонентским устройством (приемником) вызова за счет применения микромощных квитирующих радиосигналов позволяет повысить надежность и гарантированность передачи-приема радиосигналов вызова и дополняющего его сообщения.

4. Результаты статистических исследований трафика передачи данных в ПНС (в СПРВ и сотовых системах), отличающиеся от традиционных статистических оценок учетом долгосрочной динамики трафика и, независимо от вида предоставляемых услуг связи, характеризующие трафик этих услуг в виде совокупности передаваемых данных применимы при проектировании и внедрении

указанных систем ПНС и позволяют дать оценку изменению качества функционирования действующих таких систем.

Практическое значение также имеют предложенный метод повышения скорости передачи данных за счет объединения каналов радиointерфейса в системах 2G-3G и результаты анализа возможностей и способа увеличения допустимого радиуса действия БС.

5. Полученные результаты по уточнению и дополнению существующих данных о характеристиках распространения электромагнитных волн СВЧ и УВЧ диапазонов со сложной многолучевой структурой в условиях города и параметрах пространственной флуктуирующей уровневой структуры таких волн, а также полученные статистические характеристики затухания уровня радиоволн при их проникновении в различные помещения зданий позволяют повысить точность прогнозирования уровня радиосигналов в месте их приема и тем самым имеют практическое значение при оценке надежности радиосвязи и построении радиосетей ПНС.

Разработанный косвенный метод измерения медианного уровня электромагнитных волн со сложной многолучевой структурой распространения позволяет повысить скорость и оперативность процесса измерений.

6. Предложенный многопараметрический системный подход к оценке надежности связи как «территориальной надежности передачи данных (связи) при заданной помехоустойчивости» и найденная зависимость такой надежности от расстояния до БС позволяют конкретизировать оценку качества связи в зоне действия ПНС как на этапе проектирования и внедрения систем ПНС, так и на этапе их эксплуатации.

Результаты теоретических исследований взаимосвязи территориальной надежности и помехоустойчивости передачи-приема конкретных видов радиосигналов могут быть использованы как методика для определения изменения территориальной надежности при фиксированных и меняющихся значениях вероятности ошибки приема радиосигналов в зоне действия ПНС.

7. Предложенный принципиальный подход повышения территориальной надежности связи за счет комплексного адаптивного взаимодействия систем ПНС с различной структурой построения радиосетей и разработанный метод повышения территориальной надежности за счет взаимодействия радиальных и сотовых систем, а также рекомендованный метод «диапазонно-частотного» разнесения взаимодействующих радиоканалов позволяют существенным образом повысить качество связи и обеспечить наиболее полное покрытие связью в обслуживаемой ПНС территории.

8. Разработанные структурные и алгоритмические схемы комплексного взаимодействия средств оповещения и систем ПНС, обоснованные способы формирования и основные скоростные характеристики передачи сигналов систем ПНС для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях предназначены для практического их внедрения.

**Достоверность и обоснованность** полученных в работе результатов обеспечена преемственностью с апробированными теоретико – практическими подходами к вопросам построения систем и сетей подвижной наземной связи, соответствием полученных теоретических результатов с практическими результатами разработки, проектирования, внедрения и поддержки систем и сетей подвижной наземной связи. Правильность полученных результатов подтверждена практическим использованием инструментариев, построенных при помощи предложенных методов и методологий. Все теоретические результаты диссертации согласуются с современными научными представлениями и данными отечественных и зарубежных научных источников, а также подтверждаются их представительным обсуждением в научных изданиях и выступлениях на научных конференциях международного, всероссийского и межвузовского уровней. Основные научные и технические решения нашли применение при разработке, внедрении и поддержке ряда систем и сетей подвижной наземной связи.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Теоретические и прикладные результаты внедрены:

- при проведении ряда научно-исследовательских работ в Московском техническом университете связи и информатики и научно-техническом центре ООО «НТЦ Радиопоиск» (г. Нижний Новгород);
- при внедрении Нижегородской региональной пейджинговой системы связи в ООО «Радуга-поиск»;
- в системе сотовой связи ЗАО «Нижегородская сотовая связь» для совершенствования передачи коротких (SMS) сообщений;
- в «Ассоциации операторов пейджинговой связи» - при создании федеральной и межгосударственной (с республикой Беларусь) сети пейджинговой связи;
- в МЧС России по Нижегородской области для совершенствования средств оповещения населения о ЧС;
- в научной школе «Развитие систем передачи данных и оповещения на основе подвижной наземной связи», созданной при Волго-Вятском филиале Московского технического университета связи и информатики (г. Нижний Новгород);
- результаты диссертации использованы в учебном процессе по дисциплинам «Основы построения телекоммуникационных систем и сетей», изучаемом в Волго-Вятском филиале МТУСИ и «Системы связи с радиодоступом» в Институте радиоэлектроники и информационных технологий Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях, сессиях и форумах: Всесоюзных и российских научных сессиях, посвященных Дню радио (Москва) в 1973, 1976, 1980, 1984, 1992, 1994, 2003, 2006, 2012, 2013 годах, Всесоюзных научно-технических конференциях по развитию и внедрению новой техники радиоприемных устройств (Москва) в 1973, 1981, 1989 годах, Международных конференциях и дискуссионно научном клубе "Нейросетевые технологии обработки информации" (Ялта-Гурзуф) в 1996, 1997 годах, Межрегиональной научно-технической конференции "Цифровая обработка сигналов в системах свя-

зи и управления" (Львов), 1992 г., Международном форуме информатизации МФИ-92, Международной академии информатизации. (Москва), 1992 г., Второй Всесоюзной научно-технической конференции "Развитие теории и технически сложных сигналов" (Москва) 1983 г., Межрегиональной научно-технической конференции "Статистический синтез и анализ информационных систем" (Севастополь), 1991 г., Международной научно-практической конференции "Информатизация и реформы", (Н.Новгород), 1993 г., Международной конференции и дискуссионном научном клубе «Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе» (New Information Technology in Science, Education and Business). IT+SE' 97, Четвертой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двухсторонней телефонной связи" (Москва), 1995 г., Второй межвузовской научно-технической конференции "Повышение эффективности вооружения и военной техники войск ПВО в интересах противовоздушной обороны" (Н.Новгород, 1995 г.), XII-ой межрегиональной конференции «Обработка сигналов в системах телефонной связи и вещания» (Пушкинские горы, Москва), 2003г., Международной конференции «Мобильные телекоммуникации в России» (Москва), 1997 г., Бизнес-семинаре «Развитие федеральных сетей персонального радиовызова общего пользования». (Москва), 1997 г., Международной конференции Emerging Markets Conference (May 17, Moscow. European Public Paging Association. 1995r.), Всемирном конгрессе IPTS-95 "Телекоммуникационные и вычислительные системы" (Москва, 1995 г.), Международной конференции «International Paging Convention 1998», 12-14 October 1998, Athens, Greece (Атенс, Греция, 1998г.), Международной специализированной выставке - конференции военных и двойных технологий «Новые технологии в радиоэлектронике и системах управления». (Нижний Новгород, 2002г.), Научных конференциях профессорско-преподавательского, научно- и инженерно технического состава. МТУСИ (Москва), 1992, 1993, 1999, 2000, 2001, 2004, 2005 годы, Международных научно-технических конференциях «Перспективные технологии в средствах передачи информации - ПТСПИ» (Perspective Technology in the Mass Media-PTMM) (Владимир), 1999, 2003, 2007, 2013 годы, Десятой межрегиональной конференции

МНТОРЭС им. АС. Попова (Москва, 2000 г.), Межвузовских научно-практических конференциях «ТЕЛЕКОМ» (Ростов-на Дону), 2004 и 2007 годы, VII-ой международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМИ, 2008» (Владимир, 2008 г.), Семинаре-совещании заведующих кафедрами Телевидения, Систем радиосвязи радиовещания и Акустики. МТУСИ и ФАСГОУВПО (Москва 2009г.), Всероссийском научно-техническом семинаре «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания» (Н.Новгород, 2010 г.), Межрегиональных научно-технических конференциях «Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения» (Нижний Новгород – Москва), 2006, 2007, 2008 годы, Международных форумах информатизации (МФИ) (Москва), 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 годы, Международных научно-технических конференциях «Информационные системы и технологии (ИСТ)» (Нижний Новгород), 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 годы.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 155 научных трудах, из них в 1 монографии, в 24 статьях в отечественных научных журналах и сборниках научных трудов, в том числе 17 статей в журналах, отвечающих требованиям ВАК, 3 патентах, в 5 депонированных рукописях, в 122 работах и тезисах в трудах международных, всесоюзных, всероссийских, межрегиональных, межвузовских и учрежденческих научных и научно-технических конференциях, сессиях, форумах, конгрессах и семинарах.

**Личный вклад.** Во всех работах и в том числе совместных работах по теме диссертации автору принадлежат постановка задач и основной вклад в их решение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, списка используемых сокращений, приложений и изложена на 412 страницах машинописного текста, включая 312 страниц основного текста с 147 рисунками и 25 таблицами, список используемых сокращений и 31 приложение с актами внедрения результатов работы на 88 страницах. Список литературы содержит 189 наименований и занимает 12 страниц.

## **Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:**

1. Обобщенная структурная схема систем передачи данных подвижной наземной связи (ПНС) и результаты анализа скоростных характеристик передачи данных различных видов и поколений ПНС.

2. Обоснование способов построения систем и сетей многоадресного радиовызова, параметров сигналов и радиоканалов вызова в зависимости от абонентской емкости, развитие теории помехоустойчивости сигналов радиовызова для различных видов кодирования при преобладании требований к вероятности ложного вызова по сравнению с вероятностью пропуска вызова, результаты исследований трафика вызовов для определения способов подключения систем радиовызова к телефонным сетям.

3. Метод повышения надежности передачи радиосигналов вызова за счет внедрения квитирования принимаемых сообщений абонентским приемником вызова с помощью микромощных квитирующих радиосигналов и способы реализации многоадресного и широковещательного радиовызова для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

4. Результаты статистического анализа передачи данных в ПНС (в СПРВ и сотовых системах), метод повышения скорости передачи данных за счет объединения радиоканалов БС-АС и обоснование увеличения радиуса действия БС сотовой связи за счет допустимого изменения формата сигналов «пакета доступа».

5. Результаты исследований по дополнению известных характеристик распространения радиоволн ОВЧ и УВЧ диапазонов со сложной многолучевой структурой в условиях города, модель флуктуаций уровневой микроструктуры этих волн и косвенный метод измерения медианного уровня указанных волн, статистические характеристики затухания уровня радиоволн при их проникновении в различные помещения зданий.

6. Многопараметрический системный подход к оценке надежности связи как «территориальной (в зоне действия радиосистемы ПНС) надежности передачи данных (связи) при заданной помехоустойчивости»:



- определение зависимости такой надежности от расстояния до БС и взаимосвязи территориальной надежности и помехоустойчивости передачи-приема конкретных видов радиосигналов в ПНС;

- методика расчета основных энергетических параметров радиоканала подвижной связи по критериям территориальной надежности с заданной фиксированной или меняющейся помехоустойчивостью.

7. Метод повышения территориальной надежности за счет комплексного адаптивного взаимодействия в зоне действия ПНС радиосистем с различной территориальной организацией их радиосети:

- результаты аналитической оценки этого метода для взаимодействующих радиальных и сотовых систем

- способы и алгоритмы взаимодействия пейджинга (как радиальной системы) и сотовой системы связи для повышения надежности передачи SMS данных;

- метод «диапазонно-частотного» разнесения взаимодействующих радиоканалов;

- структурные и алгоритмические схемы комплексного взаимодействия современных систем передачи данных (сообщений) и способы формирования сигналов ПНС для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** кратко освещено современное состояние передачи данных в ПНС, обозначены проблемы такой передачи применительно к теме диссертации и обоснована ее актуальность, сформулированы цели работы и основные положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна полученных результатов, кратко изложено содержание диссертации, приводятся сведения об апробации и реализации результатов исследований диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена анализу развития передачи данных в системах и сетях подвижной наземной радиосвязи.

В разделе 1.1 показано, что для системной оценки передачи данных в различных системах и сетях ПНС необходимо определение обобщенной структурной схемы передачи данных. Обосновывается и приводится ее вид, основанный на принципах внутрисистемного, межсистемного (сетевое) и внешнего доступа.

В разделе 1.2 анализируются принципы организации передачи данных (сообщений) в системах персонального радиовызова – СПРВ (пейджинге). Показано, что в качестве основополагающей (базовой) системы (модели) для сравнения передачи данных в системах ПНС целесообразно использовать СПРВ. Определяются максимально возможные скорости передачи данных пейджинга, которые в зависимости от формата радиосигналов и способа кодирования для узкополосных радиоканалов могут достигать от 1200 до 6400 бит/с.

В разделе 1.3 дается оценка способам и скоростям передачи данных в транкинговых системах связи. Определяются тенденции их развития, ориентированные на технологии сотовых систем.

В разделе 1.4 подробно анализируются варианты передачи данных в сотовой связи GSM (Global System for Mobile Communications) стандарта при SMS (Short Message Service), GPRS (General Protocol Radio Service) и EDGE (Enhance Dote rotes for Global Evolution) технологиях. Определяются практически возможные и потенциально максимальные скорости передачи данных для этих технологий. Получено соотношение для определения скорости разномвариантной передачи данных по радиоинтерфейсу в ПНС с временным уплотнением каналов в виде функциональной взаимосвязи

$$B_{инф} = F(n, n_{бл}, n_{Пбл}, r_{П}, r_{к.код}, n_{пм}, T_{к}),$$

где параметры  $n, n_{бл}, n_{Пбл}, r_{П}, r_{к.код}, n_{пм}, T_{к}$  определяются структурой временных кадров (пакетов), мультикадров и канальным кодированием.

Дана оценка архитектуре сети GSM/GPRS/EDGE для предоставления мультимедийной услуги (MMS-Multimedia Message Service), многоадресной и ширококвещательной передачи сообщений.

В разделе 1.5 характеризуются особенности передачи данных в сотовых системах с кодовым разделением каналов – CDMA (Code Division Multiple Access) в сравнении с системами GSM. Определяются перспективы развития передачи данных в сотовой связи при переходе к системам третьего поколения (3G) с WCDMA (Wide CDMA) технологией в универсальной сети UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), основанных на концепциях ИМТ (International Mobile Telecommunications)-2000. Дана оценка влиянию мобильности АС на скорость передачи данных в системах сотовой связи различного уровня. Охарактеризованы особенности структурной схемы совместного предоставления MMS услуги сотовыми системами различных поколений. Дается оценка принципам и перспективам многоадресной и широковещательной передачи данных (MBMS-Multimedia Broadcast and Multicast Service) в сотовой связи. Приводится описание алгоритма поэтапных процедур для предоставления MBMS услуги и анализируются возможности и особенности организации каналов радиointерфейса систем 2G - 3G поколений для предоставления этой услуги.

Раздел 1.6 посвящен оценке высокоскоростного широкополосного беспроводного (радио) доступа для подвижной связи и перспективам перехода к системам 4G технологий. Рассматриваются Wi-Fi (Wireless Fidelity) и WiMAX (World Wide Interoperability for Microwave Access) системы широкополосного радиодоступа и анализируются технологии HSPA (High Speed Packet Access), HSPA+ и LTE (Long Term Evolution) сотовой связи.

Дается сравнение таких систем и технологий по скорости передачи данных их радиointерфейсов. Проводится обобщение результатов оценки передачи данных в ПНС с иллюстрацией динамики роста скорости передачи данных для поэтапного системного развития ПНС (см. рис.1).

Предлагается вариант оценки региональной территориальной информатизации населения (ТИН), в основе которого лежит определение суммарного потока информации от всех видов связи и всевозможных средств массовой информации заданного региона с учетом вероятности ориентации получателя информации на конкретный источник информации.

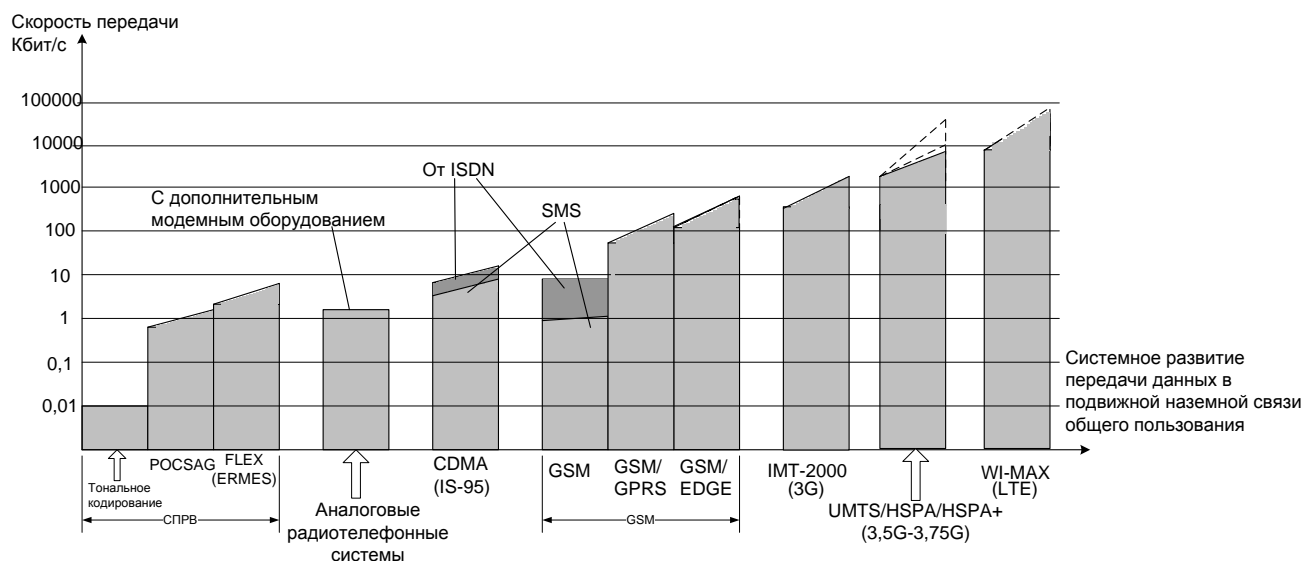


Рис. 1. Обобщенное представление о системном развитии передачи данных в подвижной наземной связи (Пунктиром показаны характеристики, которые ожидаются в перспективе).

Завершается первая глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

**Вторая глава** посвящена исследованию методов радиовызова в системах ПНС.

В разделе 2.1 исследуются методы радиовызова в СПРВ, как систем, принятых за базовую модель при анализе передачи данных в ПНС общего пользования. Определяется эволюция таких систем от систем с комбинаторным частотным кодированием модулирующих сигналов до систем с цифровыми (двоичными) радиосигналами.

Проводится анализ структурного построения СПРВ на основе принципов внутрисистемного и внешнего доступа. Определяются и характеризуются перспективные форматы многоадресных радиосигналов вызова с передачей сообщений. Характеризуются экологические достоинства абонентских устройств радиовызова.

Определяются перспективы применения адресного радиовызова и, в том числе, как средства оповещения об экстренных ситуациях.

В разделе 2.2 определяются критерии выбора способов взаимодействия систем радиовызова с проводными телефонными сетями общего пользования по

величине трафика передаваемых радиовывозов, позволяющие рациональным образом реализовать эти системы, и, в том числе, СПРВ. Для этого определяются соотношения расчета телефонной нагрузки, создаваемой системами радиовывоза,  $Y_T$  в зависимости от числа абонентов этих систем  $-N$ . С помощью этих соотношений находятся указанные критерии путем сопоставления  $Y_T$  с нагрузкой районной АТС-  $Y_{РАТС}$  в виде

$$100Y_T / Y_{РАТС} = ND[3+1,5(n_2+n_3)] / (3600 Y_1 N_{РАТС}), \%, \quad (1)$$

где  $D$  - среднее число входящих вызовов, приходящихся на одного абонента СПРВ в ЧНН,  $n_2$  и  $n_3$  - соответственно числа знаков в набираемом номере вызываемого абонента и дополнительной информации к вызову,  $Y_1$  и  $N_{РАТС}$  - соответственно, телефонная нагрузка создаваемая одним абонентом и абонентская емкость РАТС. В зависимости от числа абонентов  $-N$ , значений параметров  $n_2$  и  $n_3$  по расчетной величине  $100Y_T / Y_{РАТС}$  определяется вариант способа подключения системы радиовывоза к ГТС: или на правах аналогичных автоматической междугородной телефонной станцией (АМТС) или через узел спецслужб, или подобно учрежденческой телефонной станции, или к узлу входящих сообщений на правах РАТС..

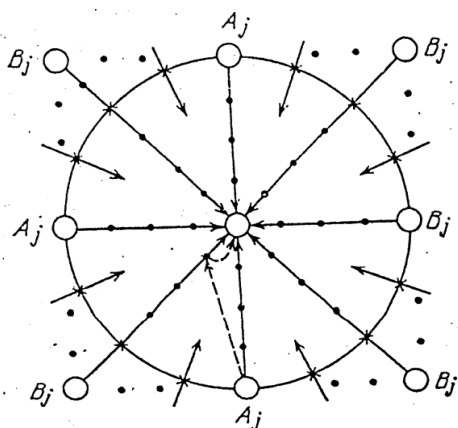
В разделе 2.3 дается оценка информативности и скорости передачи радиовывозов. Доказывается, что для типовых абонентских емкостей  $N=10^5 \dots 10^6$  при вызове с сообщением среднестатистической величины скорость передачи должна достигать 972...9720 бит/с. Исследуются характеристики сигналов радиовывоза и их кодирования при преобладании требований к вероятности ложного вызова по сравнению с вероятностью пропуска вызова в радиоинтерфейсе. Дается аналитическая оценка параметрам формирования сигналов вызова с многочастотным комбинаторным кодированием (МЧКК), основанных на функциях комбинаторики по размещениям, сочетаниям, смешанного кодирования, сочетающего в себе функции размещения и сочетания, и частотного кодирования с десятичным построением. Для таких сигналов определяются такие параметры, как взаимосвязь скорости передачи с полосой частот формирования сигналов, эффективность использования полосы частот и энтропия сигналов. Эти параметры

оцениваются как для ортогональных сигналов кодовых частот, так и для случаев при обработке сигналов в декодирующих устройствах практически популярными несложными фильтрами. Решается задача согласования кодовой емкости и полосы частот формирования указанных видов МЧКК с абонентской емкостью системы радиовызова  $-N$  в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} T_B = \frac{3600}{DN(M+1)} - \Delta T, \\ N = F(m), \\ T_B = \varphi(m, l, \Delta F), \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $T_B$  – время передачи вызова,  $\Delta T$  – интервал времени между радиовызовами,  $D$  – то же, что и в (2),  $M$  – число повторений радиовызова,  $F(m)$  – функция комбинаторики, по которой строится конкретный код,  $\varphi(m, l, \Delta F)$  – функция, определяющая  $T_B$  в зависимости от  $m$ -количества кодовых частот в системе кодирования,  $l$  – числа последовательно передаваемых радиоимпульсов, заполненных кодовыми частотами,  $\Delta F$  – полосы частот формирования вызовов.

Решается задача по оценке помехоустойчивости передачи сигналов вызова. Для цифровых систем с двоичным кодированием (ДК) проводится оценка использования избыточных кодов в условиях, когда вероятность  $p_{л}$  ложного вызова много меньше вероятности  $p_{пр}$  пропуска вызова.



Для оценки  $p_{л}$  на рис.2 показан фрагмент возможных ошибочных переходов в данную кодовую комбинацию  $i$ .

Рис. 2. Переходные вероятности для ложного вызова при избыточном коде

Символами «●» обозначены запрещенные (неиспользуемые) кодовые комбинации и «○» - разрешенные комбинации. Стрелками сплошных линий показаны переходы разрешенных комбинаций в заданную  $i$ . Стрелкой штриховой линии показан вариант перехода из разрешенной кодовой комбинации в запрещенную, которая исправляется в заданную.

Чтобы устранить такое ошибочное исправление, необходимо отказаться от исправления ошибок в декодере и использовать код только для обнаружения ошибок.

В этом случае ошибочные переходы будут определяться вероятностью необнаруженной ошибки  $p_{н.о}(i/j)$  только для разрешенных комбинаций. Тогда при равновероятной передаче каждой из  $N$  комбинаций можно записать

$$p_{л} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} p_{н.о}(i/j). \quad (3)$$

Полагая, что  $p_{н.о}(i/j) = p_{н.о}(j/i)$ , можно считать, что  $\sum_{j=1}^{N-1} p_{н.о}(i/j) = p_{н.о}$  полной вероятности необнаруженной ошибки.

$$\text{Тогда} \quad p_{л} = p_{н.о}/N. \quad (4)$$

В свою очередь,  $p_{н.о} = \sum_{i=d}^n W(\omega) p^i (1-p)^{n-i}$ , где  $W(\omega)$  – весовая характеристика кода,  $d$  - кодовое расстояние,  $n$  - длина кодовых комбинаций,  $p$  – вероятность ошибки элементарного сигнала для симметричного канала (при вероятности перехода  $p_{10} = p_{01} = p$ ) без памяти и без замираний, считая, что ошибки приема символов обусловлены гауссовскими шумами.

Оценку сверху можно сделать с помощью учета только разрешенных комбинаций (поскольку только они могут передаваться или приниматься – декодироваться). Для этого будем считать, что все  $N - 1$  разрешенные кодовые комбинации имеют наибольшую вероятность перехода в заданную  $i$ -ю комбинацию  $p^d(1-p)^{n-d}$ , т.е. располагаются на окружности с радиусом  $d$ . Это разрешенные кодовые комбинации, которые на самом деле располагаются на этой окружности (на рис.2 см.  $A_j$ ) и комбинации с большим  $d$ , которые как бы переносятся на эту окружность (см. переносы комбинаций  $B_j$  в точке с символами «\*»). Тогда, учитывая число возможных переходов  $N - 1$ , получаем

$$p_{н.о} \leq (N-1)p^d(1-p)^{n-d}.$$

Подставив это в (5), получаем

$$p_n \leq \frac{N-1}{N} p^d (1-p)^{n-d} \approx p^d (1-p)^{n-d} \quad (5)$$

В условиях отсутствия сигнала, при  $p = 1/2$ ,  $p_n = 1/2^n$ .

Исследование выражения (5) на экстремум позволяет определить величину  $p^* = d/n$ , соответствующую максимальной величине

$$p_{n \max} \leq (d/n)^d (1-d/n)^{n-d}. \quad (6)$$

Вероятность пропуска вызова для симметричного канала определится

$$p_{np} = p_{ош} = \sum_{j=1}^{N-1} p(j/i) = \sum_{i=1}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i} = 1 - (1-p)^n. \quad (7)$$

При  $p \ll 0,5$   $p_{np} \approx np.$  (8)

Если для вызова используется не одна кодовая комбинация (слово), а  $l$  слов, каждое длиной  $n$ , то при условии равновероятности передачи этих слов и независимости ошибок в них можно записать:

$$p_n(l) = 1 - (1-p_n)^l \leq 1 - [1 - p^d (1-p)^{n-d}]^l; \quad p_{n.o}(l) = 1 - [1 - (1/2)^d (1/2)^{n-d}]^l \approx (1/2)^{nl};$$

$$p_{n \max}(l) = 1 - [1 - (d/n)^d (1-d/n)^{n-d}]^l; \quad p_{np}(l) = 1 - (1-p)^{nl}; \quad (9)$$

Полученные соотношения позволяют определить для конкретного кода не только требуемую величины  $p$  или  $p_n$  и  $p_{np}$ , но и целесообразность или отказ от исправления ошибок. С помощью этих соотношений исследовались наиболее практически значимые избыточные коды (двоичный код с проверкой на четность, различные варианты БЧХ, Голея, Kasami и др.) для обоснованных эксплуатацией систем радиовызова величин  $p_n = 10^{-8}$ ,  $p_{np} = 10^{-2}$  и определены условия рационального использования этих кодов.

В этом разделе также обосновываются рекомендации выбора диапазона радиоволн для систем радиовызова и дается оценка выбору параметров радиосигналов (радиоканала). Анализируются системы, реализуемые на основе уплотнения вещательных радиоканалов.

Характеризуется «эффективность абонентского использования радиоканала» вызова в виде отношения количества обслуживаемых абонентов к полосе частот радиоканала. Определяется ее значительное превосходство по сравнению с радиоканалами радиотелефонных систем.



В разделе 2.4 предлагается для повышения достоверности и надежности передачи радиосигналов применение метода энергоэкономичного квити́рования принимаемых сообщений абонентским приемным устройством радиовызова. Дается теоретическое обоснование такому методу, основанному на изменении спектральной плотности мощности элементарного сигнала в зависимости от его длительности. На основании этого метода определяются и характеризуются мощности квитирующих сигналов, незначительная величина которых позволяет свести к минимуму влияние радиоизлучений абонентских устройств вызова на окружающую среду и сохранить экономичность в потреблении энергии источника питания этих устройств

В разделе 2.5 обосновываются способы реализации многоадресного и ширококвещательного радиовызова. На основе анализа практически востребованных форматов сигналов радиовызова для передачи многоадресного или ширококвещательного вызовов установлена целесообразность формирования специальных адресных сигналов, общих для группируемых абонентов или для всех абонентов с соответствующим введением в приемники радиовызова устройств обработки этих сигналов.

В разделе 2.6 дается оценка методам практической организации городских, региональных, федеральных и межгосударственных сетей многоадресного радиовызова. Предлагаются многовариантные сценарии взаимодействия региональных систем радиовызова с различными форматами сигналов вызова. На основании этих сценариев была разработана и практически внедрена многорегиональная межгосударственная сеть многоадресного радиовызова (пейджинга), построенная по узловому централизованному принципу «Ассоциацией операторов пейджинговой связи», схема которой приводится на рис. 2.

Разрабатываются принципы введения в таких сетях абонентской номерной системы с учетом предельных величин пропускной способности радиоканала вызова и реально возможного выделения радиочастотного ресурса для сети радиовызова.



Рис.2. Многорегиональная сеть радиовызова на территории Российской Федерации, взаимодействующая с сетью государства Беларусь.

Завершается вторая глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

**Третья глава** посвящена статистическим исследованиям передачи данных в ПНС и анализу методов увеличения скорости передачи данных и размеров зоны действия БС. Предлагается схема, определяющая направления (виды доступа) в системе передачи данных, где должна производиться статистическая оценка.

В разделе 3.1 на основании эксплуатационных данных крупной региональной СПРВ дается статистическая оценка передачи данных в адресных системах радиовызова по следующим параметрам: нагрузки доступа в систему, трафика радиовывозов, передаваемых по радиоканалу, размеру передаваемых сообщений, дополняющих вызовы. Результаты оценки приводятся в нормированном виде на одного активного абонента в виде суточных распределений этих параметров. Обосновываются величины этих параметров для ЧНН (часа наибольшей нагрузки): среднее количество вызовов, приходящихся на одного абонента –  $D$  может составлять от 0,195 до 0,295, наибольшая нагрузка приходится на интервал времени от 11 до 15 часов с сохранением пиковых значений в ЧНН на интервале от 11 до 12 часов и определяется наиболее вероятная величина длины передаваемых сообщений - 45 символов.

В разделе 3.2 дается статистическая оценка SMS, GPRS/EDGE, MMS передачи данных и голосового трафика, основанная на эксплуатационных показателях действующих систем сотовой наземной радиосвязи. При этом голосовой трафик оценивается с позиции одного из видов передачи данных. Полученные результаты приводятся в нормированном на одного активного абонента виде с представлением суточных (по пятнадцати минутным интервалам) распределений для различных дней недели. Для SMS GPRS/EDGE, MMS передачи определяются интервалы времени с наибольшим трафиком, местоположение ЧНН и интенсивность трафика, приходящегося на одного активного абонента в ЧНН.

Определяются суточные распределения суммарного трафика для всех видов передачи данных, включая и голосовую связь с учетом соотношений полноскоростного и полускоростного ее режима. В результате всех статистических оценок определяются их основные параметры. Трафик передачи данных голосовой связи значительно превышает величины трафиков других видов передачи данных и зависит от дня недели (будничные дни или выходные). Установлено, что наибольший трафик лежит в интервале от 10:15 до 20:00 часов. Наименьший трафик наблюдается с 00:15 до 07:30 часов. Местоположение ЧНН приходится на интервал от 18-15 до 19-15 часов. Объем трафика, приходящегося на одного активного абонента в ЧНН, по будничным дням, в среднем по дням недели при полноскоростной передаче может достигать порядка 3500 кбит и при полускоростной передаче около 2000 кбит,

Характеризуется прогнозирование месячного изменения трафика передачи данных. Определяется методика использования полученных результатов для оценки систем с различной абонентской емкостью, позволяющая определить основные требования к построению сотовой системы.

В разделе 3.3 проводится оценка способов повышения скорости передачи данных в системах ПНС и обосновывается метод повышения скорости передачи за счет объединения радиоканалов с долевым распределением по ним передаваемых данных.

В разделе 3.4 определяются способы увеличения размеров зоны действия БС в сотовых системах связи. Анализируются способы этого увеличения за счет допустимой коррекции форматов (таймслотов) радиосигналов и аппаратных средств. На примере GSM системы доказываемся, что радиус действия БС может быть увеличен с 35 км до 122 км. Полученные результаты этого анализа обосновываются характеристиками распространения радиоволн ОВЧ и УВЧ диапазонов.

Завершается третья глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

**Четвертая глава** посвящена исследованию частотно-энергетических аспектов распространения радиосигналов вызова и передачи данных в подвижной наземной связи.

В разделе 4.1 определяются принципы и особенности электромагнитной совместимости (ЭМС) систем ПНС по распределению радиочастот между системами ПНС и их территориальному использованию с учетом особенностей распространения электромагнитных волн. Обозначаются задачи дополнительных исследований затуханий уровня радиоволн при проникновении их в помещения зданий.

В разделе 4.2 анализируются характеристики распространения радиоволн ОВЧ и УВЧ диапазонов в условиях их использования подвижной наземной связью. На основании существующих данных и дополнительно проведенных исследований определяются статистические характеристики пространственных флуктуаций уровня радиоволн ОВЧ и УВЧ со сложной многолучевой структурой распространения в условиях города. Обосновывается уточнение оценки этих флуктуаций за счет дополнения к «макро» и «микро» уровневым структурам «промежуточной структуры». Определяется математическая модель пространственной уровневой «микроструктуры».

На основании этой модели предложен косвенный метод измерения уровня электромагнитных волн, позволяющий повысить скорость и упростить процесс измерения.

Исследуется статистика затуханий уровня электромагнитных волн ПНС при проникновении в помещения зданий, и определяются интегральные функции распределения значений этих затуханий. Определяются интегральные функции распределения величин «суммарных» флуктуаций уровня поля и его затуханий при проникновении радиоволн в помещения зданий, для которых в общем виде можно записать

$$\begin{aligned}
 F(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i)_{\%} &= \frac{100}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i} \exp \left\{ -\frac{[(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i) - M_{(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i)}]^2}{2\sigma_i^2} \right\} d(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i) = \\
 &= 50 \left\{ 1 + \Phi \left[ \frac{(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i) - M_{(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i)}}{\sigma_i} \right] \right\}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

где:  $\Delta E_{\Sigma}$  – суммарные пространственные флуктуации уровня сигнала на улицах города,  $\Delta_i$  – затухания уровня сигнала при проникновении в помещения зданий,  $M_{(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i)}$  и  $\sigma_i$  – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение совместных случайных изменений уровня сигнала на улицах и затуханий в помещениях зданий,  $\Phi(x) = \left( \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$  – функция Крампа. Значения

$M_{(\Delta E_{\Sigma} - \Delta_i)}$  и  $\sigma_i$  определены в дБ для помещений первых, цокольных помещений и подвальных помещений.

Определяется обобщенная модель прогнозирования уровня радиосигнала в зоне действия систем ПНС, уточненная для приема сигналов в помещениях зданий. В упрощенном виде для мощности сигнала в месте приема это представляется соотношением

$$P_{\text{ПР}} = \mathcal{F}(P_{\text{ПРД}}, D, K, R) + (\Delta P_{\Sigma} - \Delta), \text{ дБ}, \quad (11)$$

где:  $\mathcal{F}(P_{\text{ПРД}}, D, K, R)$  – функция, определяющая модель распространения радиоволн, зависящая от излучаемой мощности передатчика -  $P_{\text{ПРД}}D$ , условий распространения и частоты радиоволн – параметр  $K$ , расстояния до передатчика-  $R$  и

возможных отклонений уровня сигнала за счет его флуктуаций на улицах и затуханий в помещениях зданий -  $(\Delta P_{\Sigma} - \Delta)$ .

С позиции уровневой микроструктуры поля определяется влияние мобильности АС на уровень принимаемого радиосигнала. Показано, что мнимый медианный уровень радиосигнала в мобильном состоянии может увеличиваться, а дисперсия флуктуаций - уменьшаться.

В разделе 4.3 на основании существующих способов оценки уровня радиопомех в городе и полученных выше результатов по оценке затуханий уровня электромагнитного поля в зданиях разработана методика прогнозирования уровня радиопомех, проникающих в помещения зданий с улиц города.

Завершается четвертая глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

В **пятой главе** рассматривается метод многопараметрической оценки надежности связи в системах ПНС. Определяется территориальная (пространственная) надежность связи в виде многопараметрической взаимосвязи с помехоустойчивостью приема сигналов, характеристиками и условиями распространения радиоволн, величиной радиопомех и параметрами приемо-передающего радиооборудования систем ПНС.

В разделе 5.1 дается оценка требуемого порогового уровня сигнала для заданной помехоустойчивости (заданному отношению сигнал/помеха) при меняющемся уровне радиопомех. Для такой заданной помехоустойчивости аналитически определяется зависимость территориальной надежности связи от расстояния от БС для радиосигналов со сложной многолучевой структурой распространения.

Для заданного (порогового) уровня сигнала  $E_{c0}$  надежность в зоне действия радиосредств (БС или АС) может характеризоваться вероятностью  $p_c$  равенства и превышения уровня сигнала  $E_c$  величины  $E_{c0}$

$$S = p_c(E_c \geq E_{c0}) \cdot 100 = 100 \int_{E_{c0}}^{\infty} W(E_c) dE_c \%, \quad (12)$$

где  $W(E_c)$  – плотность распределения вероятностей величины уровня сигнала  $E_c$  для «медленных» его изменений в зоне действия радиосистемы при различных условиях приема сигналов.

Используя обобщенную модель распространения радиоволн со сложной многолучевой структурой распространения, характерную для ОВЧ и УВЧ диапазонов, характеристики (распределения) случайных изменений уровня сигнала и его затуханий при проникновении в помещения зданий, параметры помехоустойчивости передачи сигналов, возможные изменения радиопомех, можно определить их функциональную взаимосвязь. После ряда аналитических преобразований этой взаимосвязи выражение для определения зависимости надежности связи (территориальной надежности при заданной помехоустойчивости) от расстояния от БС определится в виде

$$S(R')_{\%} = 100 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma / |n - \beta|} \int_{R'}^{\infty} \exp \left\{ - \frac{\left[ x - \left( \frac{E_1 + M_{\Delta} - E_{\Pi} - \rho'}{n - \beta} \right) \right]^2}{2[\sigma / (n - \beta)]^2} \right\} dx, \quad (13)$$

где:  $\sigma = \sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\Delta E}^2 + \sigma_{\Delta}^2}$ ,  $R'$  – расстояние от БС, выраженное в дБ относительно  $R$  в единицах длины, например, км,  $E_1$  – средний уровень сигнала на единичном расстоянии  $R=1$ ,  $M_{\Delta}$  – математическое ожидание затухания радиосигнала при проникновении в помещения зданий,  $E_{\Pi}$  – уровень помех,  $\rho'$  – требуемое отношение сигнал-помеха,  $n$  – показатель экспоненты потерь, определяемый типом модели распространения радиосигнала,  $\beta$  – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения (убывания) уровня суммарных радиопомех с ростом  $R$ ,  $\sigma_{\Delta E}^2$  и  $\sigma_{\Delta}^2$  – дисперсии соответственно флуктуаций уровня сигнала на улицах и его затуханий при проникновении в помещения зданий города. Величины  $E_1$ ,  $M_{\Delta}$ ,  $E_{\Pi}$ ,  $\rho'$ ,  $\sigma_{\Delta E}^2$  и  $\sigma_{\Delta}^2$  – в дБ.

На основании (13) для отдельных моделей приводятся расчетные графики изменения надежности от  $R$ , нормированного к  $R_H$  с заданной надежностью.

В разделе 5.2 определяется средняя территориальная надежность в зоне действия БС и ее взаимосвязь с надежностью на границе зоны действия БС

В разделе 5.3 проводится анализ взаимосвязи территориальной надежности и помехоустойчивости передачи - приема радиосигналов в различных условиях действия системы ПНС.

На примере конкретных видов радиосигналов предлагается методика оценки изменения параметров помехоустойчивости (в том числе вероятности ошибки приема сигналов) в зависимости от расстояния от БС при заданной территориальной надежности.

Предлагается метод оценки территориальной надежности связи для современных систем ПНС, в которых применяются адаптивно к отношению сигнал/помеха меняющиеся виды радиосигналов (с изменением вида модуляции и канального кодирования).

В разделе 5.4 получены оригинальные результаты оценки влияния радиопомех на надежность и помехоустойчивость приема радиосигналов в помещениях зданий. Определяются случаи, когда при определенных значениях территориальной надежности влиянием радиопомех, проникающих в помещения зданий с улиц, на помехоустойчивость можно пренебречь.

В разделе 5.5 предлагаются рекомендации практического использования полученных результатов с ссылкой на перечень задач, решаемых на основе этих результатов.

Завершается пятая глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

**Шестая глава** посвящена предлагаемым методам повышения территориальной (пространственной) надежности связи. Разработка этих методов базируется на анализе параметров радиосигналов и технико-эксплуатационных особенностях оборудования БС и его размещения. Определяется, что одним из эффективных направлений повышения территориальной надежности является применение комплексного адаптивного взаимодействия радиосистем с различной территориальной организацией их радиосети в зоне действия ПНС.



В разделе 6.1 приводится теоретическое обоснование метода повышения территориальной надежности за счет дополнения сотовых сетей радиальными системами и создания сотово-радиальных систем. Принимая за определяющий параметр математическое ожидание расстояния –  $M$  с математическим ожиданием уровня сигнала, для определения величины изменения надежности при изменении математического ожидания от  $M$  (с надежностью  $S_0$ ) до  $M+\Delta M$  (с надежностью  $S_{\Delta M}$ ) в общем виде можно записать

$$\Delta S_{\%} = (S_{\Delta M} - S_0)_{\%} = 100 \left\{ \frac{1}{\sigma_{R'} \sqrt{2\pi}} \int_{x_{п}}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{[x - (M + \Delta M)]^2}{2\sigma_{R'}^2} \right\} dx - \frac{1}{\sigma_{R'} \sqrt{2\pi}} \int_{x_{п}}^{\infty} \exp \left[ -\frac{(x - M)^2}{2\sigma_{R'}^2} \right] dx \right\}, (14)$$

где:  $x = 10 \lg R$ ,  $R$  – расстояние от БС,  $x_{п}$  – расстояние  $R_{п}$ , на котором пороговый уровень сигнала удовлетворяет требуемой помехоустойчивости,  $\sigma_{R'} = \sigma / |n - \beta|$ ,  $\sigma$ ,  $n$  и  $\beta$  - параметры, используемые в соотношении (13).

В результате ряда аналитических преобразований получены соотношения и определены графики (см. рис.3) для определения повышения надежности -  $\Delta S_{\%}$  при задаваемых нормирующих значениях надежности -  $S_H$  в зависимости от увеличения математического ожидания  $\Delta M$  уровня сигнала за счет дополнения радиальной системы, нормированного к  $\sigma_{R'} = \sigma / |n - \beta|$  в виде  $\Delta M / \sigma_{R'} = \Delta M / (\sigma / |n - \beta|)$ .

Определяется методика оценки изменения средней территориальной надежности связи за счет дополнения радиальной системы в сотовую сеть.

Сравниваются территориальные структуры зон действия региональных сотовой и радиальной систем при их взаимодействии.

В разделе 6.2 определяются и анализируются трафиковые характеристики радиальных систем, дополняющих сотовую сеть. С учетом особенностей территориальных структур зон действия этих систем, определяются потребности оборудования БС дополняющей радиальной системы в зависимости от абонентской емкости сотовой системы.

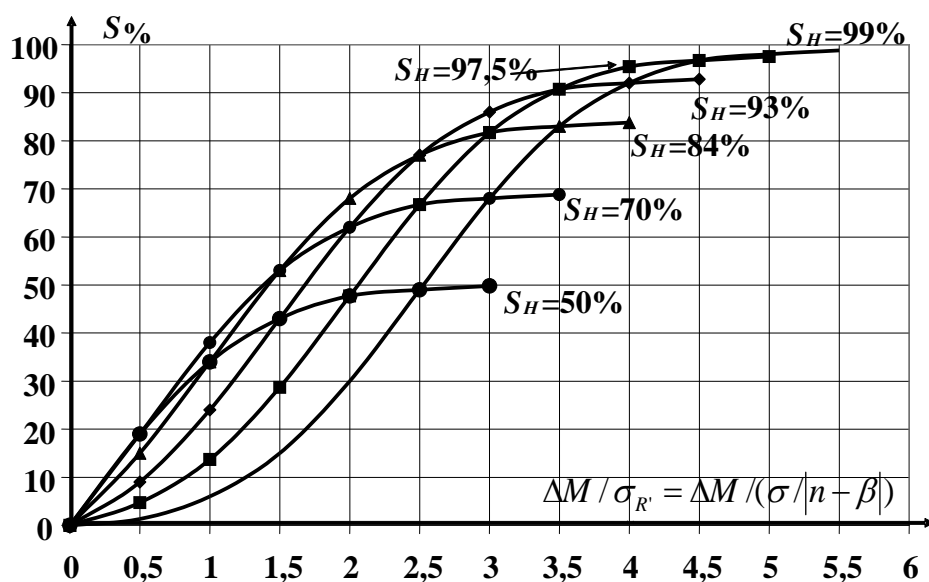


Рис.3. Изменение (увеличение) надежности при изменениях математических ожиданий уровня сигнала за счет добавления радиальной системы к сотовой

Для сравнения эффективностей предложенной радиально-сотовой и традиционной сотовой систем при решении задачи повышения территориальной надежности региональной подвижной связи дана количественная оценка дополнительно вводимых базовых станций для восполнения связью «непопулярных участков» (с низкой плотностью населения, а следовательно, низким трафиком) обслуживаемой территории. Эта оценка проведена для условно «типовой» региональной структуры покрытия подвижной связью, с характерными для Европейской части РФ долями территории «непопулярных участков». Результаты этой оценки представлены в таблице 1.

Из таблицы следует, что при повышении территориальной надежности за счет организации связи в «непопулярных участках» необходимое количество дополнительно вводимых базовых станций в радиально-сотовой системе значительно (практически более чем на порядок) меньше чем в обычной сотовой системе. Это позволяет характеризовать применение радиально – сотовой системы как наиболее рентабельное и позволяющее эффективно решать проблемы оповещения населения о чрезвычайных ситуациях всего региона.

Таблица 1. Сравнение характеристик структур территориального покрытия «типового» региона подвижной связью сотовой и радиально-сотовой системами

Характеристики структуры территориального покрытия региона подвижной наземной связью	Региональная радиально-сотовая система	Региональная сотовая система с выборочной, исключаяющей «непопулярные участки» зоной действия	Региональная сотовая система с частично покрывающей «непопулярные участки» зоной действия	Региональная сотовая система с зоной действия, охватывающей всю территорию региона
Доля «непопулярных зон» для связи в регионе	20...25 %	20...25 %	20...25 %	20...25 %
Доля зоны действия радиальных базовых станций в региональной сотовой системе связи	20...25 %	0 %	0 %	0 %
Доля базовых станций для обслуживания «непопулярных зон»	менее 1%	0 %	5...6 %	10...13 %
Территориальная надежность связи в регионе (доля территории региона, охваченная подвижной связью)	может достигать заданной величины (например, практически используемого значения 99%)	75...80%	85...90%	может достигать заданной величины (например, практически используемого значения 99%)

В разделе 6.3 разрабатываются алгоритмы и их компьютерно - программная реализация организации взаимодействия радиальной и сотовой систем в сотово-радиальной сети на принципах «межбазового» хендовера.

В разделе 6.4 предлагается и обосновывается метод повышения пространственной надежности за счет «диапазонно-частотного» разнесения радиоканалов радиальной и сотовой систем в сотово-радиальной сети. Предлагается использование этого метода в традиционных сотовых сетях и других видах ПНС.

В разделе 6.5 определяются и оцениваются способы межсистемного взаимодействия систем пейджинговой и сотовой связи для передачи коротких сообщений. Разрабатывается алгоритм такого взаимодействия. Приводится практический пример взаимодействия пейджинговой и сотовой связи с иллюстраци-

ей повышения пространственной надежности и увеличения зоны обслуживания.

В разделе 6.6 определяются методы и алгоритмы комплексного структурного взаимодействия современных систем связи для оповещения населения о чрезвычайных ситуациях. При этом акцентируется внимание на анализе взаимодействия средств ПНС. Предлагается и обосновывается использование специального режима «прерывания предоставляемых услуг связи» для широковещательной рассылки экстренных сообщений в сотовой и пейджинговой системах. Определяются особенности использования каналов этих систем для такой рассылки и оцениваются скорость и время передачи экстренных сообщений.

Завершается шестая глава выводами, вытекающими из приведенного в ней рассмотрения.

В **заключении** приводятся основные результаты диссертации.

В **приложениях** приводятся вспомогательные материалы к каждой главе, отражающие аналитическую и практическую детализацию полученных результатов диссертационной работы, а также акты внедрения этих результатов.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Определена обобщенная структурная схема передачи данных для систем ПНС, позволяющая дать оценку той или иной системы с позиции внутрисистемного и внешнего доступа. Получено выражение для определения скорости разно вариантной передачи данных по радиointерфейсу в различных системах ПНС с временным уплотнением каналов. Проведенный анализ методов и скорости передачи данных, возможных способов и видов передаваемой информации позволил определить тенденции развития передачи данных для СПРВ, транкинговых систем, сотовых систем GSM с SMS, GPRS, EDGE технологиями, CDMA систем, сетей UMTS для WCDMA технологии, высокоскоростного радиодоступа Wi-Fi, WiMAX и перспективных технологий HSPA, HSPA+ и LTE.

2. Дана оценка эволюции систем многоадресного радиовызова (СПРВ), типам форматов и кодирования радиосигналов вызова в зависимости от размеров

зоны действия и абонентской емкости. Определены практически значимые варианты и способы построения таких систем с указанием перспектив применения адресного радиовызова от СПРВ до систем телеуправления и как средство оповещения об экстренных ситуациях.

Определены и исследованы варианты способов взаимодействия системы адресного радиовызова с телефонными сетями общего пользования по величине трафика передаваемых вызовов в зависимости от абонентской емкости систем радиовызова.

Определены информативность и скорость передачи адресных сигналов радиовызова и их зависимость от абонентской емкости системы радиовызова и величины передаваемых сообщений. Разработаны методы синтеза и оценки параметров сигналов различных видов многочастотного комбинаторного кодирования (МЧКК). Дана теоретическая оценка параметрам помехоустойчивости для различных вариантов МЧКК и двоичного кодирования, приемлемых для сигналов радиовызова, при условии преобладания требований к вероятности ложного вызова по сравнению с вероятностью пропуска вызова. На конкретных примерах показана методика расчета параметров радиоканала вызова.

Предложен и теоретически обоснован энергоэкономичный метод квитирования (подтверждения) приема радиовызовов, повышающий надежность передачи-приема радиосигналов. Определены способы многоадресной и широковещательной передачи сигналов радиовызова.

Предложены и практически обоснованы способы создания региональных, многорегиональных и межгосударственных сетей многоадресного радиовызова (СПРВ).

3. Исследованы статистические параметры передачи данных в системах ПНС - многоадресного радиовызова (пейджинга), SMS, MMS, GPRS/EDGE данных и голосовой связи в сотовых системах связи. Результаты этих исследований учитывают долгосрочную динамику трафика этих систем и, независимо от вида предоставляемых услуг связи, характеризуют их как совокупность передаваем-

мых данных и позволяют определить основные требования реализации и эксплуатации указанных систем с различной абонентской емкостью.

4. Предложен метод повышения скорости передачи данных в ПНС за счет объединения радиоканалов с долевым распределением по ним передаваемых данных (ОРДПД). Определены возможности увеличения зоны действия базовой станции в сотовой связи.

5. На основе экспериментальных исследований структуры пространственных флуктуаций уровня радиосигнала и его затухания при проникновении в помещения зданий города уточнены и дополнены существующие характеристики распространения ОВЧ-УВЧ радиоволн и радиопомех в системах ПНС.

6. Предложен многопараметрический системный подход к оценке надежности связи в зоне действия радиосистемы ПНС как «территориальной (пространственной) надежности передачи данных (связи) при заданной помехоустойчивости», учитывающий исходные энергетические параметры сигналов в радиоканале ПНС, характеристики распространения радиоволн и радиопомех, затухания их уровня при проникновении в помещения зданий, помехоустойчивость передачи радиосигналов.

Определена зависимость этой надежности от расстояния до базовой станции для различных условий приема сигналов (на улицах и в помещениях зданий города). Получено выражение для определения средней надежности связи в зоне действия базовой станции, и определена ее зависимость от надежности на границе этой зоны.

Показана взаимосвязь помехоустойчивости приема сигналов и эффективности использования полосы частот канала связи с территориальной надежностью. На конкретных примерах радиосигналов показана разработка методики определения зависимости территориальной надежности от изменения вероятности ошибки принимаемых радиосигналов.

Дана оценка изменению территориальной надежности связи систем ПНС, в которых применяются адаптивно к отношению сигнал/помеха меняющиеся виды сигналов.

7. Обосновано повышение территориальной надежности связи за счет комплексного адаптивного взаимодействия радиосистем с различной территориальной организацией их радиосети в зоне действия ПНС. Предложен и обоснован метод повышения территориальной надежности за счет дополнения сотовой сети радиальной системой, который позволяет восполнить подвижной связью участки территории обслуживаемого региона, не охваченные сотовой сетью. Разработаны теоретические принципы оценки территориальной надежности сотово-радиальной сети, которые доведены до уровня методики территориального планирования при внедрении радиальной системы в сотовую сеть. Разработаны алгоритм и программное обеспечение хендверного взаимодействия (переключения) радиальной и сотовой систем с приоритетом действия сотовой системы.

Разработаны и показаны практически реализованные способы взаимодействия пейджинговой и сотовой сетей в режиме передачи коротких (SMS) сообщений, основанные на указанных выше методах взаимодействия сотовых и радиальных систем.

Предложен метод «диапазонно-частотного» разнесения взаимодействующих радиоканалов, позволяющий повысить территориальную надежность связи.

Развиты принципы и разработаны структурные и алгоритмические схемы для комплексного взаимодействия существующих средств оповещения с системами подвижной связи для экстренного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях. Обоснованы и конкретизированы способы и условия широкополосной передачи экстренных сообщений через системы GSM, WCDMA сотовой связи и многоадресного радиовызова.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ**

**Монография.** Туляков Ю.М. Системы персонального радиовызова. М.: Радио и связь. - 1988. - 168 с.

### **Список публикаций в журналах, отвечающих требованиям ВАК:**

1. Туляков Ю.М., Абдалов В.В., Сорокина Е.В. Обобщенная оценка передачи

- данных в системах подвижной связи // Электросвязь. – 2009 - №1 - С. 37-43.
2. Туляков Ю.М. Статистика затуханий уровня электромагнитного поля ОВЧ при проникновении в помещения зданий города. // Технологии электромагнитной совместимости. -2009 -№2(29) – С. 85-89.
  3. Туляков Ю.М. Оценка пространственной надежности ОВЧ радиосвязи в условиях города.// Т.Сотт.-2009-№4- С.20-23.
  4. Туляков Ю.М. Оценка скорости передачи данных по радиointерфейсам в действующих системах сотовой связи. // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2009.-№2 - С.106-110.
  5. Туляков Ю.М., Шакаров Д.Е., Калашников А.А. Сравнение вариантов передачи данных в системах связи на «последней миле»././ Т.Сотт «Спецвыпуск по итогам 3-й отраслевой научной конференции «Технологии информационного общества»», часть 3. – август, 2009 - С. 199-202.
  6. Туляков Ю.М. Эффективность взаимодействия сотовой и «широкозонавой» систем связи././ Известия ЮФУ. Технические науки.-2010.-№5. - С. 207-215.
  7. Туляков Ю.М. Особенности параметров помехоустойчивости в системах с радиовывозом и с приоритетом требований к ложному вызову по сравнению с пропуском вызова. // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - №1, 2010. – С.64-69.
  8. Туляков Ю.М., Шакаров Д.Е., Калашников А.А. Обобщение результатов исследований методов использования современных средств подвижной наземной радиосвязи для оповещения в кризисных ситуациях././ Известия ЮФУ. Технические науки.-2010.-№5. - С. 195-201.
  9. Туляков Ю.М. Пространственная надежность прохождения радиосигналов со сложной многолучевой структурой распространения в условиях города (на улицах и при проникновении в помещения). // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, №5, часть1, 2010. - С.75-84.
  10. Туляков Ю.М. Эффективность взаимодействия сотовой и «широкозонавой» систем связи././ Известия ЮФУ. Технические науки.-2010.-№5. - С. 207-215.



11. Туляков Ю.М. Пространственная надежность в зависимости от вероятности ошибки приема радиосигналов подвижной связи.// Т.Comm.-2010,№9. - С.136-139.
12. Туляков Ю.М. Алгоритмическая оценка взаимодействия сотовых и радиальных систем подвижной наземной связи. // Известия ЮФУ. Технические науки.-2011.-№5. - С. 21-26.
13. Туляков Ю.М., Шакаров Д.Е., Калашников А.А. Анализ широкополосной передачи данных в современных сотовых системах подвижной наземной радиосвязи. // Т-Comm.– 2011, №1. – С. 29 – 33.
14. Туляков Ю.М.. К вопросу повышения скорости передачи данных для телекоммуникационных и инфокоммуникационных технологий в системах подвижной связи.// Известия ЮФУ. Технические науки.- 2012.-№5. - С. 32-36.
15. Туляков Ю.М. Определение трафиковых характеристик радиальной системы в радиально-сотовой сети подвижной наземной связи. // Т-Comm. – 2013, №1. – С. 39-42.
16. Туляков Ю.М. Системы персонального радиовызова. // Электросвязь, 1976, № 5. - С. 37-46.
17. Туляков Ю.М., Шакаров Д.Е., Калашников А.А. Обобщенный анализ особенностей применения современных средств подвижной связи для оповещения населения.// Известия ЮФУ. Технические науки. -2014.-№ 4. - С. 43-49.

### **Список патентов**

1. Туляков Ю.М. Двухсторонняя пейджинговая система связи с подтверждением приема сообщений. (2010) Патент RU № 2 392 740 С2. Опубликовано: 20.06. 2010г. Бюл. № 17.
2. Туляков Ю.М. Система сотовой связи. (2010) Патент на изобретение RU №2405259 С1. Опубликовано: 27.11. 2010г. Бюл. № 33.
3. Туляков Ю.М. Способ объединения сотовой и пейджинговой систем связи. (2011) Патент на изобретение RU №2426888 С2 Опубликовано: 20.04. 2011г. Бюл. № 11.

### **Выборочный список основных публикаций в других изданиях:**

1. Туляков Ю. М. Структура сигналов и выбор характеристик систем персонального радиовызова//Аннот. и тез. докл. — М.: Всес. науч. сессии, посвященной Дню радио/НТО РЭС им. А. С. Попова. — М., 1973. — С. 104—105.
2. Туляков Ю. М. Оценка ряда параметров внедрения системы персонального радиовызова СПРВ//Тез. докл. XXXI Всесоюз. научн. сессии, посвященной Дню радио/НТО РЭС им. А. С. Попова.— М., 1976.—С.46—47.
3. Туляков Ю.М. Некоторые основания для выбора технических решений систем персонального радиовызова (СПРВ). - М., 1976 г.// Депонирована в ЦНИИТЭС приборостроения 13.12.76 г. № 664.
4. Горячев А. А., Туляков Ю. М. Оценка параметров кодирования с частотными признаками //Тр. НИИ Гидрометеорологического приборостроения. — 1977. — Вып. 34. — С. 106—120.
5. Туляков Ю.М. Экспериментальная оценка затуханий электромагнитных ультракоротких волн, проникающих в помещения зданий //Тез. докл. XXXV Всесоюзн. научн. сессии, посвященной Дню радио/НТО РЭС им. А.С. Попова.- М.,1980.- С.38.
6. Туляков Ю.М. Надежность приема УКВ сигналов в подвижных радиосистемах.// Межведомственный сборник трудов "Методы обработки и устройства формирования пространственно-временных сигналов."- М., МЭИ, 1984, № 36. - С. 110-114.
7. Туляков Ю.М. Методика расчета надежности УКВ радиосвязи с подвижными объектами в различных условиях города.//Тезисы докладов, XXXIX Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио, - М., Радио и связь, 1984.-С. 76.
8. Туляков Ю.М., Дежурный И.И., Евженков А.С. Задачи передачи цифровой информации в системах сухопутной подвижной радиосвязи.//Депонирована в ЦНТИ "Информсвязь", - М., 1987 г. №9.
9. Туляков Ю.М. Сети и системы персонального радиовызова.//Тезисы докладов научной сессии, посвященной Дню радио. - Москва, 1994.

10. Туляков Ю.М., Чирков С.Б. Передача сигналов вызова в канале ОВЧ-ЧМ радиовещания. //Тезисы докладов. Вторая межвузовская научно-техническая конференция "Повышение эффективности вооружения и военной техники войск ПВО в интересах противовоздушной обороны". - Н.Новгород. Высшее зенитное училище ПВО МО РФ, 1995. - С.285.
11. Туляков Ю.М., Чирков С.Б., Мезин Д.А., Денисов В.Ю. Анализ возможностей согласования сетей Internet и персонального радиовызова.//Тезисы докладов. Международная конференция и дискуссионный научный клуб "Нейросетевые технологии обработки информации".- Украина. Ялта-Гурзуф, 1996. - С.123-125.
12. Туляков Ю.М. Концептуальный анализ вариантов реализации Федеральной сети персонального радиовызова.//Тезисы докладов. Международная конференция и дискуссионный научный клуб «Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе» (New Information Technology in Science, Education and Business). IT+SE' 97) - Украина. Ялта-Гурзуф, 12-24 мая 1997. - С.135-136.
13. Yuri M. Tulyakov From Regional to Federal Messaging in Russia. // International Paging Convention 1998, 12-14 October 1998, Athens, Greece .S.24.
14. Туляков Ю.М., Туляков А.Ю., Кузнецов А.Я., Абдалов В.В., Сорокина Е.В. Последние достижения в пейджинге и его развитие.//Тезисы доклада. LVIII научная сессия, посвященная Дню радио. - Москва, 2003. - С. 55-56.
15. Туляков Ю.М. Анализ характеристик развития адресной передачи данных в подвижной наземной связи.// Материалы доклада в трудах Российского НТО РЭС им. А.С. Попова «Научная сессия, посвященная Дню радио». Выпуск XL1, Москва, 2006. - С.174-176.
16. Туляков Ю.М. Статистическая оценка передачи данных в системах подвижной наземной связи общего пользования.//Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. «Информационные системы и технологии ИСТ-2006». Н. Новгород, 2006. - С.69-70.

17. Туляков Ю.М., Абдалов В.В., Туляков А.Ю. Информационное экстренное оповещение через средства наземной подвижной связи.//Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». INTERMATIC-2006, Москва, 2006. - С. 97-100.
18. Туляков Ю.М., Шакаров Д.Е., Лашкин Г.Л. Статистика трафика передачи данных в сотовой связи. //«Труды Московского технического университета связи и информатики», том 2, Москва.2008. - С. 316-320.
19. Туляков Ю.М. Энергетически экономное квитирование приема данных в подвижной связи.//Материалы шестнадцатой межрегиональной научно-технической конференции «Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения». Пушкинские горы – Москва, 2008. - С. 90 – 91.
20. Туляков Ю.М., Д.Е. Шакаров, А.А. Калашников. Оповещение населения при ЧС с помощью широковещательных сообщений сетей мобильной связи. Международный форум информатизации (МФИ 2009).//Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». Москва, 2009.- С.132-133.
21. Туляков Ю.М. Алгоритмы формирования сигналов в современных сотово-радиальных системах подвижной связи. «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания: тексты докладов всероссийского научно-технического семинара.// Под ред. Шахгильдяна В.В.- Москва. Инсвязьиздат 2010. - С.147-149.
22. Туляков Ю.М. Оценка изменения помехоустойчивости приема радиосигналов в зоне действия подвижной связи в условиях города по критерию пространственной надежности//Труды Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии (ИСТ-2010)», Нижний Новгород, 2010. - С. 110.
23. Туляков Ю.М. Обоснование способов повышения надежности передачи данных в системах подвижной наземной связи. //Материалы конференции, V Международный форум информационных технологий «IT Forum 2020

информатизация нашей жизни», XVIII Международная Научно-техническая конференция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ» ИСТ–2012, Нижний Новгород. – 2012. - С. 133.

24. Туляков Ю.М.. Особенности подхода к оценке территориальной надежности подвижной наземной связи при адаптивно меняющихся видах радиосигналов. // Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии (ИСТ-2013)», Нижний Новгород. – 2013. - С.132.
25. Туляков Ю.М., Анализ параметров передачи радиосигналов для определения методов повышения территориальной надежности подвижной наземной связи. // X Международная научно-техническая конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации». Владимир - Суздаль. – 2013. - С.122-124.

**Туляков Юрий Михайлович**  
«Разработка методов повышения надежности подвижной радиосвязи»  
**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Подписано в печать 07.07.2015 г.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,92. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_.

Издательство  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.