

Шорин Александр Олегович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАФИКА В СИСТЕМАХ
МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Специальность 05.12.13 – Системы,
сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2017

Работа выполнена в орден Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).

Научный руководитель:

Шлома Александр Михайлович,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры радиотехнических систем
МТУСИ.

Научный консультант:

Сорокин Александр Степанович,

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры систем и сетей радиосвязи и
телерадиовещания МТУСИ.

Официальные оппоненты:

Карташевский Вячеслав Григорьевич,

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Мультисервисные сети
и информационная безопасность» Поволжского
государственного университета
телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ).

Мазепа Роман Богданович,

кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиосистем и
комплексов управления, передачи информации
и информационной безопасности Московского
авиационного института (МАИ).

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное
предприятие «Научно-исследовательский
институт радио» (ФГУП «НИИР»).

Защита состоится 30.11.2017 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 219.001.04 при орден Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» по адресу: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.8а, МТУСИ, аудитория А-448 (малый зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ <http://www.srd-mtuci.ru/index.php/ru/council>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.

Терешонок Максим Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие систем мобильной связи, даже на фоне чрезвычайно активного распространения компьютерных и цифровых технологий, отличается особенной стремительностью. При этом их внедрение и реализация встречают активнейший встречный отклик со стороны социума. Складывается ситуация, когда становится модным обладание самым последним вариантом технологий и умение пользоваться новейшими вариантами сервиса. В сложившихся условиях операторы сетей становятся обладателями небывалой экономической выгоды. Конкуренция за рынок и ресурсы достигает высочайшего уровня. Главным показателем коммерческого успеха выступает время, затрачиваемое на внедрение новых технологий, услуг и сервисных приложений. Наиболее простым и доступным при этом является подход заимствования уже разработанных и имеющихся на рынке «западных» технологий. Экономическая обоснованность такого варианта развития не вызывает сомнений. Так поступают все и везде. Доработка технологических и теоретических моментов отодвигается на второй план, так как требует затрат времени – основного конкурентного показателя. При этом не удивительно то, что обширные возможности, связанные с более детальной проработкой отдельных аспектов функционирования систем мобильной связи, остаются как бы «за бортом» реальных систем ввиду того, что в силу тех или иных обстоятельств они оказались не готовыми для непосредственного внедрения.

Со всей уверенностью можно утверждать, что такая ситуация не может продолжаться долго. Она носит кратковременный характер и несет в себе, наряду с неоспоримыми преимуществами, и существенные потери для соответствующей отрасли и направления технического/научного развития. Наиболее ярко существующие издержки начинают проявляться, как и положено, в наиболее «узких», критических местах сетей связи. Самым значимым из них является ограниченный ресурс радиоканала. В него все крепче и безнадежнее упирается процесс развития и наращивания мощности систем мобильной связи. Пока еще сохраняются возможности, связанные в РФ с «расчисткой» частотных диапазонов от устаревших (и не совсем устаревших) систем связи и управления, в большинстве ситуаций, относящихся к силовым ведомствам. Но в ближайшие несколько лет и этот ресурс будет исчерпан.

Поэтому, не сходя с реалистической платформы, можно утверждать, что в среднесрочной перспективе проявится более активный спрос на разработки усовершенствованных методов и оптимизированных алгоритмов функционирования систем мобильной связи.

Степень разработанности темы. Системы мобильной связи обязаны своим появлением революционным идеям Л. Клейнрока, позволившим сделать переход от «старых» технологий стационарного характера, связанных с организацией связи на базе коммутации каналов, к «новым» динамическим технологиям распределения ресурса при организации связи на базе

коммутации пакетов. К сожалению, революционное продвижение идей динамической организации пока остановилось на уровне формирования подключений по радиоканалу. Проектирование опорной сети в системах мобильной связи продолжает базироваться на идеологии стационарной организации. Конкретно, при проектировании за каждой отдельной базовой станцией закрепляется на постоянной основе такое количество ресурса/аппаратуры, которое будет достаточным для обработки трафика, возникающего на ней в час наибольшей нагрузки (ЧНН). При этом никак не учитывается то, что большую часть времени суток выделенный ресурс остается недоиспользованным (замороженным). В настоящее время операторы «большой тройки» в РФ оперируют при проектировании показателями ЧНН, достигаемыми на каждой отдельной соте за месяц. Пиковые нагрузки при этом зачастую заметно превосходят средние. Это позволяет судить, насколько завышенными являются требования на ресурс при существующих требованиях на качество. Если в какой-то локальной зоне в принципе не хватает ресурса для обслуживания трафика, то производится строительство дополнительной базовой станции и зона обслуживания разбивается на более мелкие кластеры. Относительный уровень случайных всплесков нагрузки возрастает, а заложенный запас ресурса в сети растет. При этом не является секретом то, что локальные всплески нагрузки на сотах, как правило, различаются по времени. Снизить излишние затраты ресурса позволяет использование на базовых станциях адаптивных антенн, но из-за соображений экономической эффективности они пока не нашли широкого применения, за исключением сетей стандарта McWILL. Фактически, в системах мобильной связи операторы столкнулись с явлением двухмерного пространственного и одномерного по оси времени блуждания таких макропараметров как нагрузка и концентрация абонентов. Таким образом, поведение указанных макропараметров является сугубо нестационарным. А технология организации работы сети продолжает базироваться на статической концепции. Ясно, что такой подход приводит к чрезмерным затратам.

Основной трудностью, с которой приходится сталкиваться при попытке решения, является относительная новизна указанной проблемы, возникшей непосредственно с развитием систем мобильной связи. Как следствие, наблюдается отсутствие технических и даже теоретических наработок по указанной тематике. Не существует выработанного единого подхода и терминологии. Поэтому можно говорить, что данное направление еще не оформилось в самостоятельную дисциплину. Хотя явно просматривается ее определение как динамической (нестационарной) теории систем массового обслуживания.

В сложившихся условиях остается возможным только формулировать отдельные, может даже очень важные, но все-таки частные, задачи и осуществлять попытки их решения. В случае успеха представляется полезным методическое осмысление значимости и возможного места, которое может занять полученное решение в рамках общего взгляда на проблематику.

Анализ состояния вопроса показал, что ряд авторов уже имеют работы в данном

направлении. В качестве примера можно указать на работы О.А. Шорина, проведенного исследования по вопросам обнаружения и оценки определяющих концентрацию мобильных абонентов параметров, а также статистической связи параметра блокировки вызовов (Grade of Service GoS) с численностью абонентов в зоне обслуживания; на работы Г.П. Башарина, посвященные развитию теории Эрланга на случаи потока комбинированной нагрузки разного характера, а также теории мобильности с пересечением абонентами границ сот, работу Н.Б. Суторихина, посвященную развитию теории распределения Эрланга на случаи описания блокировок вызовов (GoS)) в совокупности с «обрывами» соединений (Call Drop Rate (CDR)), но только для стационарных сетей.

Ряд работ относится к смежным направлениям, но их результаты можно рассматривать как применимые для динамической теории массового обслуживания. Это труды Э. Сейджа и Дж. Мелсы по методу «инвариантного погружения» для решения задачи синтеза уравнений стохастической фильтрации, работы А.М. Шломы по методам косвенной фильтрации, а также базовые работы Р.Л. Стратоновича, В.И. Тихонова, М.А. Миронова, В.Н. Харисова и Б.Р. Левина, устанавливающие общие основы теории и техники решения задач фильтрации. Также нужно отметить фундаментальные работы Дж. Кемени, Дж. Снелла, С. Карлина и его ученика Ф. Спицера по теории случайных блужданий.

Одновременно с этим было установлено, что ряд очень значимых вопросов остается пока недостаточно проработанным. В реальных условиях поведение концентрации абонентов в большинстве ситуаций подчиняется законам медленных флуктуационных «движений». В таких случаях модель ударных волн, использованная в работах О.А. Шорина, не достаточно точно описывает поведение подвижных абонентов, а методы теории поиска остаются слишком инерционными. Возникает задача синтеза уравнений фильтрации для интенсивностей дискретных потоков в нестационарных условиях. Она до сих пор оставалась не решенной. Также не проработан вопрос развития теории распределения Эрланга (Энгсета) на совместное поведение числа абонентов, блокировок вызовов (GoS) и уровня сорванных звонков («обрывов» соединений) (CDR). Их решение позволило бы заметно продвинуться как в теоретическом, так и в технико-прикладном направлениях по описанию динамики поведения систем мобильной связи.

Цели и задачи. Цель данной работы – повышение эффективности обслуживания трафика в системах мобильной связи на основе применения методов расчета канального ресурса, учитывающих влияние мобильности абонентов в пределах зон обслуживания на основные показатели качества, а также в результате использования алгоритмов прогноза локальных перегрузок при динамическом управлении канальным ресурсом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать метод формализованного описания влияния скорости перемещения абонентов на поведение основных показателей качества работы системы мобильной связи (GoS

и CDR).

2. Найти многомерные статистические распределения для совместного распределения числа абонентов, занятых и потерянных из-за «обрывов» соединений каналов, определяющие эффективность использования канального ресурса системы.

3. Синтезировать алгоритмы фильтрации для интенсивности пуассоновского потока и на их основе разработать метод прогноза возможных локальных перегрузок в системах мобильной связи.

4. Разработать программы моделирования для проверки корректности результатов, получаемых на основе найденных многомерных распределений основных показателей качества работы. Определить границы применимости полученных аналитических соотношений.

5. Определить временные интервалы, в пределах которых формируемые оценки прогноза обладают точностью, приемлемой для решения практических задач, связанных с адаптивным перераспределением ресурсов для устранения потерь качества обслуживания в локальных зонах спонтанного всплеска нагрузки.

Научная новизна диссертационной работы

1. Получены решения составленных уравнений баланса в виде многомерных совместных распределений числа абонентов, числа занятых и потерянных из-за «обрывов» соединений каналов, что позволило более точно и объективно, по сравнению с традиционным одномерным подходом, основанном на модели Эрланга (Энгсета), описать состояние сети и показатели качества с учетом их взаимного влияния.

2. На основе усреднения найденных многомерных распределений получены частные распределения для отдельных комбинаций показателей качества, что позволило разработать уточненные правила расчета качества работы систем мобильной связи как по всему комплексу показателей, так и по их отдельным комбинациям с учетом взаимного влияния.

3. Получены результаты анализа влияния скорости движения абонентов на показатель процентов «обрывов» соединений в линиях связи с OFDM сигналами, позволяющие оценить условия «обрыва» соединения из-за снижения уровня радиосигнала ниже порогового.

4. Получены алгоритмы фильтрации для нестационарной интенсивности потока Пуассона, составившие основу метода прогноза перегрузок системы мобильной связи в условиях случайно изменяющихся интенсивностей входящего и выходящего абонентских потоков.

5. Разработана программа моделирования работы множества подвижных абонентов на территории соты, позволяющая при ограниченных вычислительных затратах в рамках имитационной модели воспроизводить одновременно протекающие в сети реальные процессы, различающиеся по динамике поведения до 100000 раз.

На основе моделирования установлено, что полученные в работе результаты обладают уровнем гарантированной достоверности 0.99 в пределах интервала отклонений до 10%.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в том, что предложены методы расчета с учетом скорости движения абонента для таких показателей качества связи как вероятность отказа на запрос и вероятность «обрыва» соединения, а также методы фильтрации интенсивности пуассоновских потоков, для которых рассмотрены варианты развития на задачи слежения за параметрами систем массового обслуживания. Эти методы открывают перспективу развития такой дисциплины, как нестационарные системы массового обслуживания. Теоретические результаты диссертации могут быть также использованы при разработке и анализе в условиях нестационарного поведения любой системы (устройства), допускающей описание с помощью пуассоновских потоков.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что на основе разработанных в ней практических рекомендаций, методов, алгоритмов и результатов моделирования оказалось возможным повысить достоверность прогнозирования локальных перегрузок в системе мобильной связи с макросотами за 35 минут до их наступления. Внедрение их в ядро программной поддержки работы систем мобильной связи открывает возможность адаптивного управления каналным ресурсом и «парирования» большинства хаотически возникающих на территории обслуживания локальных перегрузок.

Использование и внедрение результатов диссертации подтверждено актами о внедрении, приложенными к диссертации. При непосредственном участии диссертанта был создан ряд высокоэффективных алгоритмов обработки измерений, базирующихся на использовании теоретических и прикладных результатов исследований работы сетей связи в нестационарных условиях. Эти разработки были внедрены на предприятиях в работах, проводимых по оптимизации систем мобильной связи ООО «Национальное радиотехническое бюро», по созданию системы мобильной связи стандарта McWILL ЗАО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий», а также НИЛ-31 НИЧ МТУСИ при создании систем мониторинга и управления на базе радиомодемов «Интеграл».

Личный вклад. Теоретические и практические исследования, проведенные расчеты с использованием ПЭВМ, а также рекомендации, методики и выводы получены автором лично.

Методология и методы исследования. В работе при решении поставленных задач использовались результаты и методы теории передачи сигналов по каналам связи, методы математической статистики, стохастической фильтрации, теории вероятности, случайных процессов, теории массового обслуживания, многомерного анализа, а также методы вычислительной математики и программирования. Теоретическую основу исследования составили работы Дж. Кемени, Дж. Снелла, Р.Л. Стратоновича и А.М. Шломы по стохастической фильтрации, Д. Прокиса по теории цифровой связи, и Г.П. Башарина по теории массового обслуживания.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод расчета канального ресурса на основе трехмерного совместного распределения числа абонентов, числа занятых и потерянных из-за «обрывов» соединений каналов, позволяет на 6-36%, в зависимости от структуры сети, повысить эффективность обслуживания трафика.

2. Полученные зависимости влияния скорости движения абонентов и рабочих характеристик радиолинии на интенсивность «обрывов» соединений в системах мобильной связи с OFDM сигналами, показывают, что при изменении скорости движения абонентов от 5 м/с до 30 м/с в радиолиниях с модуляцией QAM-64, интенсивность «обрывов» соединений возрастает в сто раз, что эквивалентно снижению уровня сигнал/шум более чем на 5 дБ.

3. Полученные алгоритмы фильтрации интенсивностей входящих и исходящих абонентских потоков и разработанный на их основе метод прогноза перегрузок, позволяют с повышенной достоверностью обнаруживать условия, приводящие к локальным перегрузкам в системах с макросотами, за 35 минут до момента возникновения самих перегрузок.

4. Разработанная программа моделирования поведения мобильных абонентов в зоне обслуживания соты, позволяет воспроизводить адекватно реальным условиям процессы, различающиеся на несколько порядков по динамике поведения, а также подтверждает корректность полученных в диссертации результатов для уровня достоверности 0.99.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью разработанных методик, с результатами теоретического анализа и имитационного моделирования. Основные показатели эффективности, полученные теоретически, подтверждаются на практике, о чем свидетельствуют соответствующие акты внедрения результатов работы.

Полученные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались со специалистами на Российских и Международных конференциях по проблемам развития систем сотовой связи и обработке сигналов: Международная конференция «Мобильный бизнес: перспективы развития и проблемы реализации систем мобильной связи в России и за рубежом» 2008-2016 гг.; Международный конгресс «Коммуникационные технологии и сети» (СТN-2012, СТN-2013); Научная сессия НИЯУ МИФИ, 2013 г.; а также на VII и VIII Международных отраслевых научно-технических конференциях «Технологии информационного общества» (МТУСИ 2013-2014 гг.)

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 42 научных работах, из них 11 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК: Радиотехника; Электросвязь; T-Comm; Вестник РАЕН; Динамика сложных систем – XXI век.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, определяются цель и задачи работы, обосновывается ее научная и практическая ценность, а также приводится перечень положений, выносимых на защиту.

В первой главе анализируются подходы и возможные методы решения поставленной задачи повышения эффективности обслуживания трафика в системах мобильной связи.

Рассматривается задача анализа рабочих параметров (GoS, CDR), используемых на практике в качестве ключевых для описания качества работы системы мобильной связи. Обсуждаются возможности уточнения физической модели, лежащей в основе поведения указанных параметров, которые позволят добиться повышения качества описания для расширенного спектра условий работы. Указывается, что наряду с блокировками вызовов (GoS) важную роль имеет и показатель уровня «обрывов» (CDR). На основе анализа литературы и общеизвестных стандартов констатируется, что устоявшиеся методы анализа рассматривают указанные показатели отдельно, без учета их взаимосвязи, а также без учета их зависимости от числа абонентов, концентрирующихся в зонах обслуживания (сервирования) сот. Такой вариант анализа зачастую оказывается слишком грубым и, как следствие, способным дать лишь приближенные оценки, а также существенно ограничен по функциональности прогнозирования.

Поэтому в диссертации предлагается расширить стандартную модель Эрланга В, работающую только с блокировками, на показатель «обрывов» соединений. Такая модель будет иметь большую размерность, но зато позволит в единой форме описывать и блокировки, и «обрывы». Одновременно предлагается в такую модель ввести учет скорости движения абонентов. В результате полная вероятностная модель оказывается размерности три. Зато в ней все три основных показателя (число абонентов в соте, уровень GoS и уровень DCR) будут объединены единой формой описания с присутствием статистической связанности иерархического типа.

Для предложенной модели отмечаются два затрудняющих обстоятельства, возникающие при проверке получаемых на ее основе статистических соотношений методами имитационного моделирования.

Во-первых, для получения достоверных результатов оказывается необходимым смоделировать в рамках единой имитационной программы процессы с диапазоном разброса скоростей протекания, составляющим порядка сотен тысяч. Использование стандартных систем и языков имитационного моделирования (GPSS World, AnyLogic, Rockwell Arena) оказывается невозможным из-за недопустимо больших вычислительных затрат. Возникает отдельная задача разработки специальных алгоритмов, позволяющих моделировать в рамках единой программы процессы с таким диапазоном скоростей при ограниченных вычислительных затратах.

Во-вторых, диапазон возможных значений числа абонентов в сотах чрезмерно велик (от

единиц до десятков тысяч). Поэтому целесообразно рассмотреть формирование соответствующих данных и соответствующих аналитических расчетов не для каждого отдельного числа абонентов, а разбить диапазон возможных значений числа абонентов на несколько поддиапазонов и работать с ними.

В рамках предлагаемой многомерной модели системы массового обслуживания обосновывается целесообразность рассмотрения «трехслойной» структуры, в которой на каждом отдельном слое работа описывается в рамках стандартной модели пуассоновских потоков.

Естественным образом предлагаемая модель может быть расширена на случаи нестационарного поведения потоков. Довольно широкий класс нестационарных ситуаций охватывается методом описания «движения» интенсивностей потоков через стохастические дифференциальные уравнения. При исследовании нестационарных ситуаций целесообразно ограничиться стохастическим описанием для первых двух «уровней» модели (число абонентов в зоне обслуживания и изменение нагрузки). Для «обрывов» соединений, как менее значительной составляющей, целесообразно модель считать стационарной.

Решение задачи стохастической фильтрации предполагает в качестве промежуточного результата формирование экстраполяционных оценок. По их рассогласованию с наблюдениями должна осуществляться коррекция продукта фильтрации. Поэтому в самом решении уравнений фильтрации уже заложен механизм прогнозирования: компонента «порождающего процесса» отбрасываются и формируется тренд на основе уравнений сноса с начальным состоянием из позиции текущей оценки фильтрации. На рисунке 1 показан пример формирования оценки прогноза таким способом.



Рисунок 1 – Формирование оценки прогноза на основе уравнения тренда сноса стохастического процесса

Принципиальной трудностью развития подхода стохастической фильтрации на задачи

динамического анализа в системах мобильной связи является то, что в канале наблюдений присутствует нестационарный пуассоновский процесс, а для таких условий в рамках общей теории фильтрации решения до сих пор найдено не было. Предлагается, используя метод «инвариантного погружения», отраженную в работах Э. Сейджа и Дж. Мелсы, получить решение поставленной задачи.

В конце главы приведено определение понятия «эффективного обслуживания трафика» в стационарных и нестационарных условиях работы. Для этого вводится функционал $P = F(\rho, M, D, G)$, задающий значение канального ресурса (N – число доступных каналов в системе), необходимого для обслуживания трафика ρ при заданных условиях на основные показатели: M – число абонентов на территории; G – допустимая вероятность блокировки запроса обслуживания из-за перегрузки; D – верхний порог для числа «обрывов» соединений.

При стационарном трафике оптимальным предлагается считать обслуживание с F , удовлетворяющим условию

$$F_{opt} = \arg \left\{ \min_F \{P; P = F(\rho, M, D, G)\} \right\}. \quad (1)$$

В нестационарных условиях оптимальность обслуживания формулируется, как определение F , при котором обеспечивается минимальное необходимое увеличение показателя N при сохранении показателей ρ, D, G .

Для оценки повышения эффективности обслуживания трафика вводится показатель

$$\zeta = \frac{\rho_{max} - \rho}{\rho} 100\%, \quad (2)$$

где ρ и ρ_{max} – трафик, который система способна обслужить до и после оптимизации при условии сохранения заданных показателей (G, D, N).

Во второй главе разрабатывается метод расчета канального ресурса системы мобильной связи, включающий методику составления уравнений баланса в условиях динамического поведения абонентов, методику решения указанных уравнений баланса, приводящую к трехмерному совместному распределению числа абонентов, количества занятых и потерянных в результате «обрывов» соединений каналов, и технику получения искомым расчетных формул из трехмерного распределения путем усреднения. Приводятся данные моделирования, подтверждающие справедливость полученных аналитических соотношений в реальных условиях работы систем мобильной связи.

Аналитическое решение задачи было получено с помощью составления уравнений «баланса фаз».

Для описания состояния вводится вероятность $P_{i, n_a, j}$, где $i \geq 0$ – число абонентов в зоне обслуживания, n_a ($0 \leq n_a \leq i$) – число занятых каналов в соте, $j \geq 0$ – число потерянных из-за «обрывов» соединений каналов. Для охватываемых уравнениями «баланса фаз» процессов записываются изменения вероятностей:

- 1) из-за возможного появления нового абонента в соте на интервале Δt вероятность $P_{i,n_a,j}$ будет увеличиваться на $\left(P_{i-1,n_a,j} \cdot \lambda^M \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \lambda^M \Delta t \right)$;
- 2) из-за возможного выхода абонента из соты на интервале Δt вероятность $P_{i,n_a,j}$ будет увеличиваться на $\left(P_{i+1,n_a,j} \cdot \mu^M \cdot (i+1) \cdot \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \mu^M \cdot i \cdot \Delta t \right)$;
- 3) из-за возможного нового абонентского соединения на интервале Δt вероятность $P_{i,n_a,j}$ будет увеличиваться на $\left(P_{i,n_a-1,j} \cdot \lambda \cdot (i - n_a + 1) \cdot \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \lambda \cdot (i - n_a) \cdot \Delta t \right)$;
- 4) из-за возможного нормального завершения абонентского соединения на интервале Δt вероятность $P_{i,n_a,j}$ будет увеличиваться на $\left(P_{i,n_a+1,j} \cdot \mu \cdot (n_a + 1) \cdot \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \mu \cdot n_a \cdot \Delta t \right)$;
- 5) из-за возможной потери канала в результате «обрыва» соединения на интервале Δt вероятность $P_{i,n_a,j}$ будет увеличиваться на $\left(P_{i,n_a+1,j-1} \cdot \omega \cdot (n_a + 1) \cdot \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \omega \cdot n_a \cdot \Delta t \right)$;
- б) из-за возможности восстановления доступа к использованию ранее потерянного в результате «обрыва» соединения канала вероятность $P_{i,n_a,j}$ на интервале Δt будет увеличиваться на $\left(P_{i,n_a,j+1} \cdot \nu \cdot (j+1) \cdot \Delta t - P_{i,n_a,j} \cdot \nu \cdot j \cdot \Delta t \right)$.

В указанных условиях были использованы обозначения: λ^M – интенсивность потока входящих регистраций в зону обслуживания со стороны мобильных абонентов; μ^M – удельная интенсивность потока запросов на выход из зоны обслуживания со стороны мобильных абонентов; λ – удельная интенсивность (на абонента) потока запросов на организацию соединений; μ – удельная интенсивность (на активного абонента) потока запросов завершений соединений; ω – удельная интенсивность (на активное соединение) потока «обрывов»; ν – удельная интенсивность (на «оборвавшееся» соединение) потока «восстановлений» единиц канального ресурса, переводящего в состояние доступности для повторного использования.

Решение системы уравнений баланса было получено в приближенном виде путем выделения трех групп параметров. Показано, что взаимное влияние между группами значительно ниже по уровню, чем внутри каждой из групп. Поэтому общая система баланса разделяется на три квазинезависимые подсистемы. Для каждой подсистемы в отдельности получены точные решения, после чего из них был скомбинирован общий результат в виде трехмерного совместного распределения числа абонентов, количества занятых и потерянных в результате «обрывов» соединений каналов. Из трехмерного распределения путем усреднения получено двухмерное совместное распределение числа абонентов в зоне (i) и общего числа занятых и потерянных каналов ($k = n_a + j$)

$$P_{i,k} \approx \frac{\frac{(\rho^m)^i}{i!} C_i^k \left(\frac{\lambda}{\mu^*} \right)^k \left(1 + \frac{\omega}{\nu} \right)^k}{\sum_{l=0}^{\infty} \frac{(\rho^m)^l}{l!} \sum_{m=0}^{\min(l,N)} C_l^m \left(\frac{\lambda}{\mu^*} \right)^m \left(1 + \frac{\omega}{\nu} \right)^m}, \quad i = 0, 1, \dots, \quad k = 0, 1, \dots, \min(i, N), \quad (3)$$

где: $\mu^* = \mu + \omega$ – суммарная интенсивность завершения соединений, происходящих как в штатном режиме, так и в результате «обрывов»; $\rho^m = \frac{\lambda^m}{\mu^m}$, N – число доступных каналов в системе.

Также было найдено распределение числа потерянных из-за «обрывов» соединений каналов:

$$P_j \approx \frac{(\rho^m)^j \left(1 + \frac{\lambda}{\mu^*} \right)^j \left(\exp \left(\frac{\lambda}{\mu^*} \frac{\omega}{\nu} \right) - 1 \right)^j}{j!} \bigg/ \sum_{m=0}^N \frac{(\rho^m)^m \left(1 + \frac{\lambda}{\mu^*} \right)^m \left(\exp \left(\frac{\lambda}{\mu^*} \frac{\omega}{\nu} \right) - 1 \right)^m}{m!}. \quad (4)$$

На основе сопоставления соотношений (3) и (4) и стандартной статистики Эрланга В, получены оценки погрешностей расчета пропускной способности на базе традиционного подхода (построенного на модели Эрланга В). Оказалось, что они зависят от размеров сот и составляют от 2% до 5% для макросот, и от 6% до 36% для микро, нано и пикосот.

Проведены расчеты вероятностей потери соединений в результате «обрывов» соединений для условий, характерных для сот разных типов и для различных скоростей перемещения абонентов. Для примера в таблице 1 показаны средние значения для ожидаемого числа потерянных из-за «обрывов» соединений каналов в микросоте.

С использованием соотношения (3) проведены расчеты двухмерных распределений для числа абонентов и общего числа занятых и потерянных каналов в соте. На рисунке 2 показан пример для такого распределения, полученного для макросоты с параметрами: $\lambda^m = 15$; $\mu^m = 0.0083$; $\lambda = 0.001$; $\mu = 0.016667$; $\omega = 0.0005$; $\nu = 0.0333$; $N = 120$.

Таблица 1 – Ожидаемые потери каналов для микросоты

V = 120 км/ч					
$\frac{\omega}{\nu}$	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007
0.02	0.48	0.63	0.78	0.93	1.07
0.03	0.32	0.42	0.52	0.62	0.72
0.04	0.24	0.32	0.39	0.46	0.54
0.05	0.19	0.25	0.31	0.37	0.43
V = 50 км/ч					
$\frac{\omega}{\nu}$	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007
0.02	0.48	0.63	0.78	0.93	1.07
0.03	0.32	0.42	0.52	0.62	0.72
0.04	0.24	0.32	0.39	0.46	0.54
0.05	0.19	0.25	0.31	0.37	0.43
V = 5 км/ч					
$\frac{\omega}{\nu}$	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007
0.02	2.4	3.17	3.92	4.65	5.37
0.03	1.6	2.11	2.61	3.1	3.58
0.04	1.2	1.58	1.96	2.32	2.68
0.05	0.96	1.27	1.57	1.86	2.15

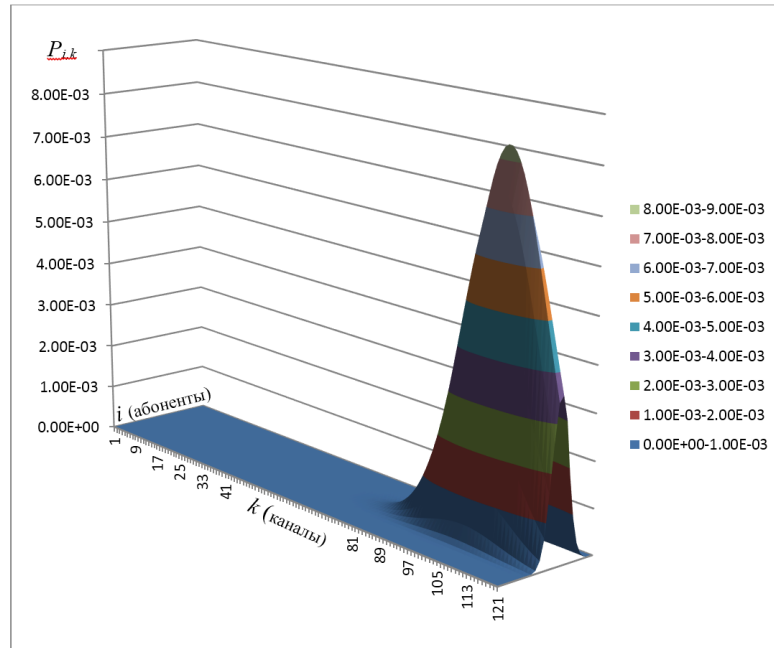


Рисунок 2 – Двухмерное распределение числа абонентов и общего числа занятых и потерянных каналов в макросоте

В конце главы рассмотрено влияние скорости движения абонентов в системах мобильной связи с OFDM-сигналами на параметр ω (удельная интенсивность потока «обрывов» соединений). Исследование выполнено для случаев логнормальных и релейевских замираний в радиоканале. Расчет проведен на базе анализа выбросов марковских процессов за высокий порог. На рисунке 3 показаны полученные зависимости интенсивности потока «обрывов» соединений от отношения сигнал/шум, при логнормальных замираниях с размахом $\sigma_{\text{дв}} = 5$ дБ и информационной скорости кодека $R=3/4$.

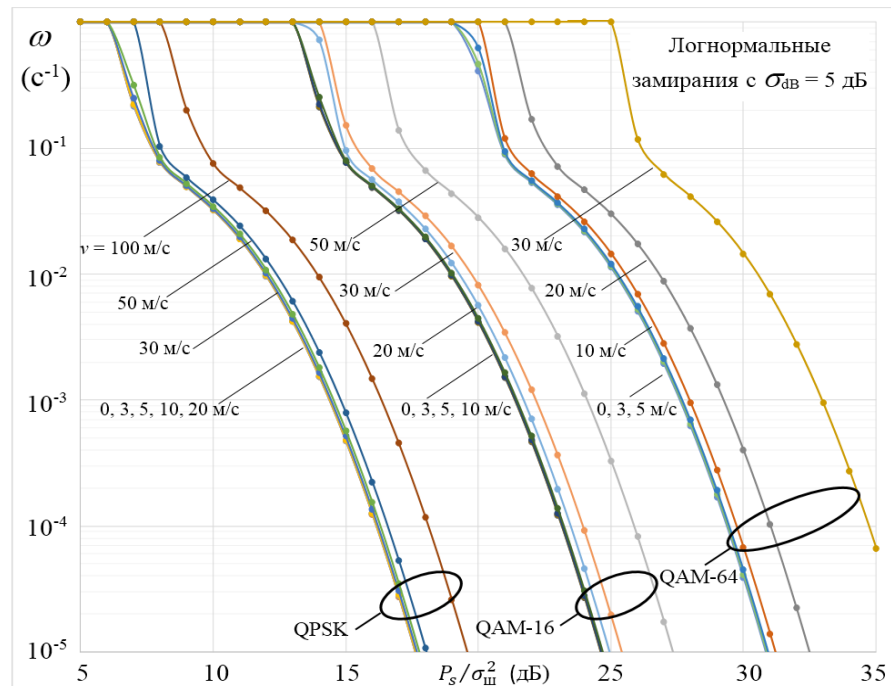


Рисунок 3 – Зависимость удельной интенсивности потока «обрывов» соединений от отношения сигнал/шум

Из представленных зависимостей видно, что изменение скорости движения абонентов от 5 м/с до 30 м/с приводит в линиях с модуляцией QAM-64 к увеличению интенсивности потока «обрывов» соединений в сто раз, что эквивалентно эффективному снижению уровня сигнал/шум на 5 дБ и более.

В третьей главе решается задача синтеза алгоритма фильтрации для интенсивности пуассоновского потока, когда поведение интенсивности описывается диффузионным стохастическим процессом. На основе синтезированного алгоритма разрабатывается метод прогноза перегрузок в системе мобильной связи с учетом скорости движения абонентов. Решение получено как для случая входящего потока, когда только параметр интенсивности определяет поведение потока регистраций, так и для случая потока выходящих регистраций, когда поведение потока запросов зависит от комбинации параметра удельной интенсивности и текущей «нагрузки».

Синтез алгоритма фильтрации осуществлен на основе метода «инвариантного погружения», предложенного Э. Сейджем и Дж. Мелсой, с заменой метрик, связанных с гауссовским распределением, на метрики пуассоновского распределения.

Получены уравнения фильтрации для интенсивностей λ (входящего пуассоновского) и μ (удельная выходящего) потоков:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\hat{\lambda}(t)}{dt} = \phi_{\lambda}(\hat{\lambda}(t), t) + P_{\lambda}(t) \left(\frac{1}{\hat{\lambda}(t)} \sum_{i=1}^{k_T^{\lambda}} \mathbf{1}(t-t_i) - 1 \right), \\ \frac{dP_{\lambda}(t)}{dt} = \gamma_{\lambda} + 2P_{\lambda}(t) \frac{\partial \phi_{\lambda}(\hat{\lambda}(t), t)}{\partial \hat{\lambda}(t)} - P_{\lambda}^2(t) \frac{1}{\hat{\lambda}^2(t)} \sum_{i=1}^{k_T^{\lambda}} \mathbf{1}(t-t_i), \\ \hat{\lambda}(0) = \lambda_0, \quad P_{\lambda}(0) = \sigma_{\lambda 0}^2; \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\hat{\mu}(t)}{dt} = \phi_{\mu}(\hat{\mu}(t), t) + P_{\mu}(t) \left(\frac{1}{\hat{\mu}(t)} \sum_{j=1}^{k_T^{\mu}} \mathbf{1}(t-t_j) - N(t) \right), \\ \frac{dP_{\mu}(t)}{dt} = \gamma_{\mu} + 2P_{\mu}(t) \frac{\partial \phi_{\mu}(\hat{\mu}(t), t)}{\partial \hat{\mu}(t)} - P_{\mu}^2(t) \frac{1}{\hat{\mu}^2(t)} \sum_{j=1}^{k_T^{\mu}} \mathbf{1}(t-t_j), \\ \hat{\mu}(0) = \mu_0, \quad P_{\mu}(0) = \sigma_{\mu 0}^2, \end{array} \right. \quad (6)$$

где: $\hat{\lambda}(t)$ и $\hat{\mu}(t)$ – результаты фильтрации интенсивностей $\lambda(t)$ и $\mu(t)$; $P_{\lambda}(t)$ и $P_{\mu}(t)$ – дисперсии ошибок фильтрации интенсивностей; $\mathbf{1}(t-t_i)$ – дельта-функция Дирака; $t_i = \left(0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{k_T^{\lambda}} \leq T \right)$ – моменты наблюдаемых «точек» пуассоновского потока на входе; $t_j = \left(0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{k_T^{\mu}} \leq T \right)$ – моменты наблюдаемых «точек» пуассоновского потока на выходе; $N(t)$ – число абонентов в сети в момент t ; функции $\phi_{\lambda}(\hat{\lambda}(t), t)$, $\phi_{\mu}(\hat{\mu}(t), t)$ –

коэффициенты сноса; и параметры γ_λ , γ_μ – коэффициенты диффузии «порождающих процессов», задают уравнения «движения» в виде стохастических уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \lambda(t) = \phi_\lambda(\lambda, t) + \sqrt{\gamma_\lambda} \cdot n_\lambda(t); \\ \frac{d}{dt} \mu(t) = \phi_\mu(\mu, t) + \sqrt{\gamma_\mu} \cdot n_\mu(t). \end{cases} \quad (7)$$

В (7) $n_\lambda(t)$, $n_\mu(t)$ – порождающие «белые» гауссовы процессы с единичной односторонней спектральной плотностью, которые задают диффузионную составляющую уравнений «движения». Параметры $\lambda_0, \sigma_{\lambda_0}^2$ в (5) и $\mu_0, \sigma_{\mu_0}^2$ в (6) обозначают математическое ожидание и дисперсию априорных законов распределения для параметров интенсивности λ и μ , соответственно.

Проверка правомерности предложенного подхода и работоспособность синтезированных алгоритмов фильтрации (5), (6) проводится с помощью моделирования. Результаты приведены на рисунках 4 – 6.

На рисунке 4 показан пример фильтрации параметра интенсивности $\lambda(t)$. Наблюдения в виде усредненных значений входящих регистраций на «элементарных интервалах» отображены ступенчатой линией черного цвета.

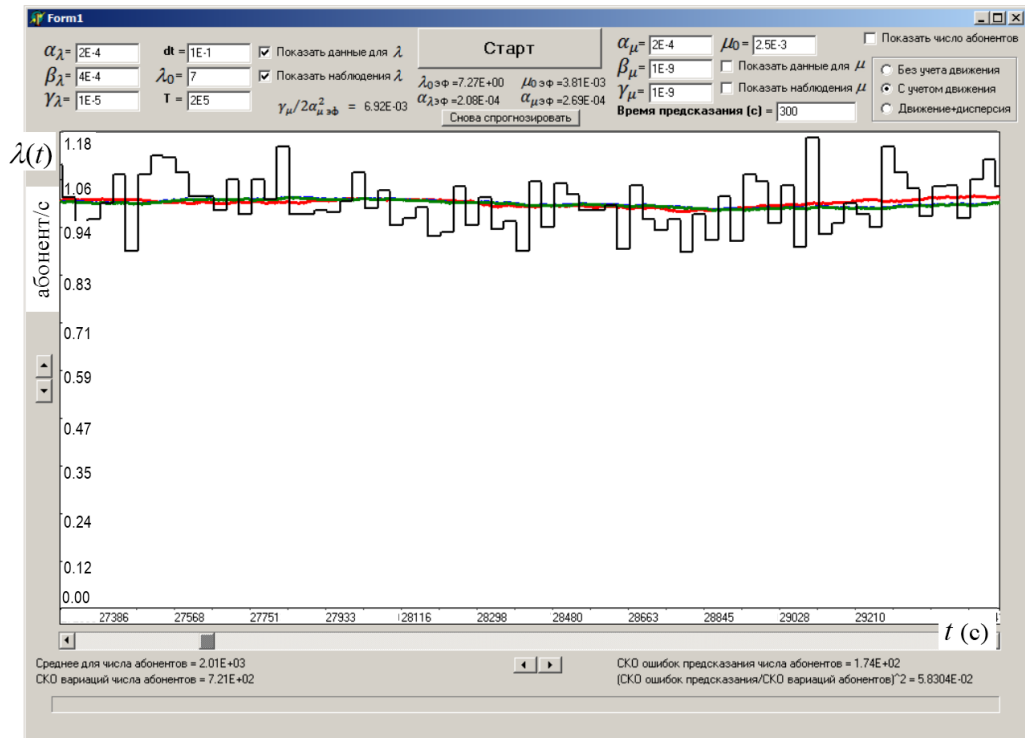


Рисунок 4 – Результат фильтрации для параметра интенсивности $\lambda(t)$. Красным цветом – траектория $\lambda(t)$, зеленым – результат фильтрации $\hat{\lambda}(t)$, черным – наблюдения на элементарных интервалах по числу точек потока входящих регистраций

На рисунке 5 показан пример фильтрации параметра удельной интенсивности $\hat{\mu}(t)$ (болотный цвет). Видно, что он достаточно точно совпадает с истинной траекторией $\mu(t)$

(малиновый цвет).

На основе уравнений фильтрации разработан метод прогноза числа абонентов в сети и перегрузок.

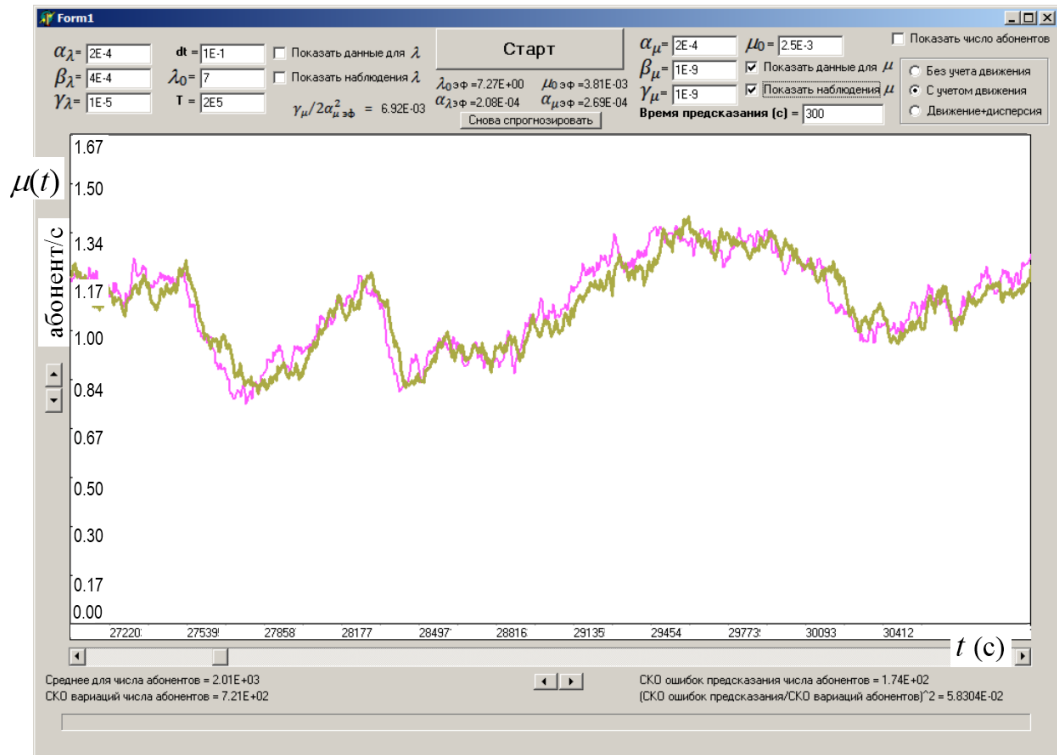


Рисунок 5 – Результат фильтрации параметра удельной интенсивности $\mu(t)$. Малиновым цветом – траектория $\mu(t)$, болотным – результат фильтрации $\hat{\mu}(t)$

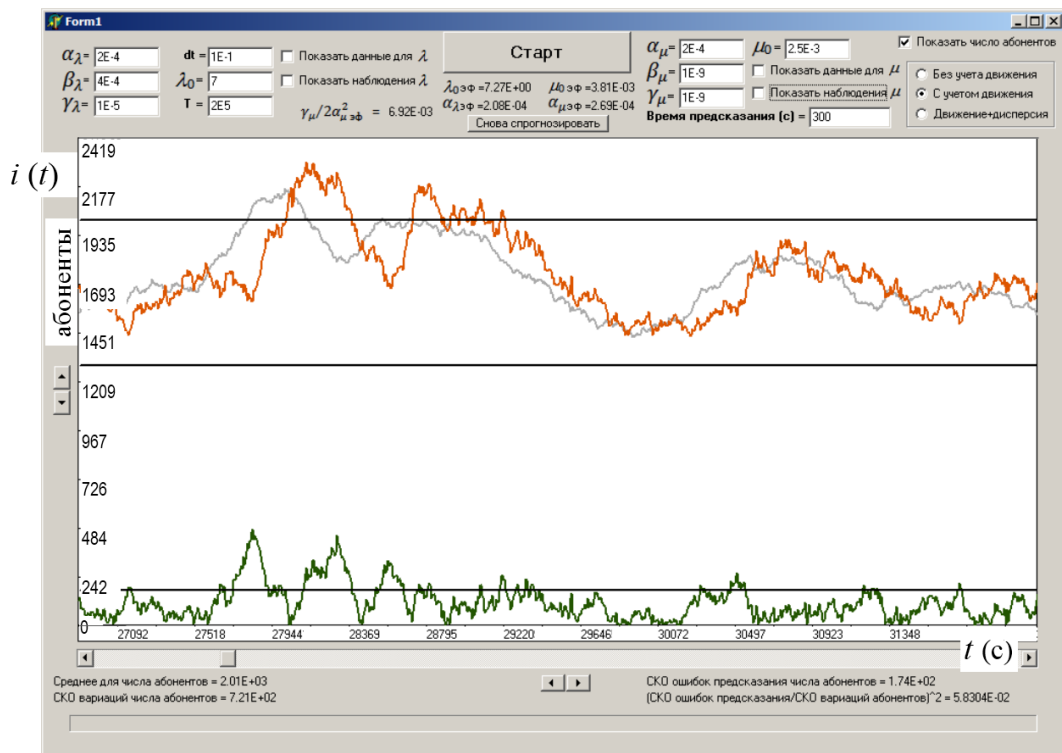


Рисунок 6 – Изменение числа абонентов в сети (коричневая кривая) и прогноз числа абонентов по результатам фильтрации интенсивностей (серая линия).

Ошибка прогноза – зеленая линия

На рисунке 6 приведен пример работы этого метода для прогноза числа абонентов. На нем показаны следующие характеристики: траектория изменения числа абонентов в соте (коричневым цветом) и прогноз числа абонентов на 300 секунд вперед (серым цветом). Горизонтальные черные линии показывают интервал вариации числа абонентов в пределах среднеквадратического отклонения (СКО). Черная горизонтальная линия рядом с зеленой траекторией – уровень СКО ошибки прогноза числа абонентов в соте.

Результаты, отображенные на рисунках 4 – 6, позволяют прогнозировать нагрузку как

$$\hat{\rho}(t + \Delta t_{\text{прог}}) = \frac{\hat{\lambda}^m(t + \Delta t_{\text{прог}})}{\hat{\mu}^m(t + \Delta t_{\text{прог}})} \cdot \frac{\hat{\lambda}(t + \Delta t_{\text{прог}})}{\hat{\mu}(t + \Delta t_{\text{прог}})} = \hat{i}(t + \Delta t_{\text{прог}}) \cdot \frac{\hat{\lambda}(t + \Delta t_{\text{прог}})}{\hat{\mu}(t + \Delta t_{\text{прог}})}, \quad (8)$$

где $\Delta t_{\text{прог}}$ – интервал прогноза, $\hat{i}(t + \Delta t_{\text{прог}})$ – прогнозируемое число абонентов на момент $t + \Delta t_{\text{прог}}$, $\hat{\lambda}(t + \Delta t_{\text{прог}})$ и $\hat{\mu}(t + \Delta t_{\text{прог}})$ – прогнозируемые значения интенсивностей на момент $t + \Delta t_{\text{прог}}$, удовлетворяющие дифференциальным уравнениям первого порядка:

$$\frac{d}{dt} \hat{\chi}(t + \tau) = \phi_{\chi}(\hat{\chi}(t + \tau), t + \tau), \quad \tau \in [0, \Delta t_{\text{прог}}], \quad (9)$$

где χ обозначает λ , λ^m , μ или μ^m .

В работе исследуется случай коэффициентов сноса $\phi_{\chi}(\hat{\chi}, t) = \phi_{\chi}(\hat{\chi})$, не обладающих зависимостью от времени в явном виде. Показано, что при этом дифференциальные уравнения (9) могут быть решены известным методом с разделением переменных. Найдены точные формулы прогнозируемых значений трендов, включающие вспомогательные функции специального вида, для которых проведена табуляция.

Полученные результаты подтвердили работоспособность и эффективность разработанного метода прогноза перегрузок в системах мобильной связи, возникающих по причине локальных скоплений абонентов и/или локального роста интенсивности трафика.

На рисунке 7 приведены сравнительные результаты для СКО прогнозов числа абонентов (или нагрузки, для случая постоянных $\lambda(t)$ и $\mu(t)$) макросоты, формируемых алгоритмами следующих видов:

- 1) по текущему состоянию (синяя кривая), то есть без учета динамического поведения;
- 2) по априорным данным (красная кривая), то есть без учета наблюдений;
- 3) на основе данных фильтрации (черная кривая), то есть на основе уравнений (5), (6) и (9).

По горизонтальной оси отложена длительность интервала прогноза (в секундах), по вертикальной – отношение СКО прогноза к СКО флуктуаций числа абонентов.

Как видно, применение фильтрации оказывается наиболее эффективным для среднесрочных прогнозов (до 35 минут). Сокращение СКО прогноза на 25%, наблюдаемое в пределах указанных выше границ интервалов, позволяет, как минимум, в 2.5 раза поднять достоверность обнаружения перегрузок.

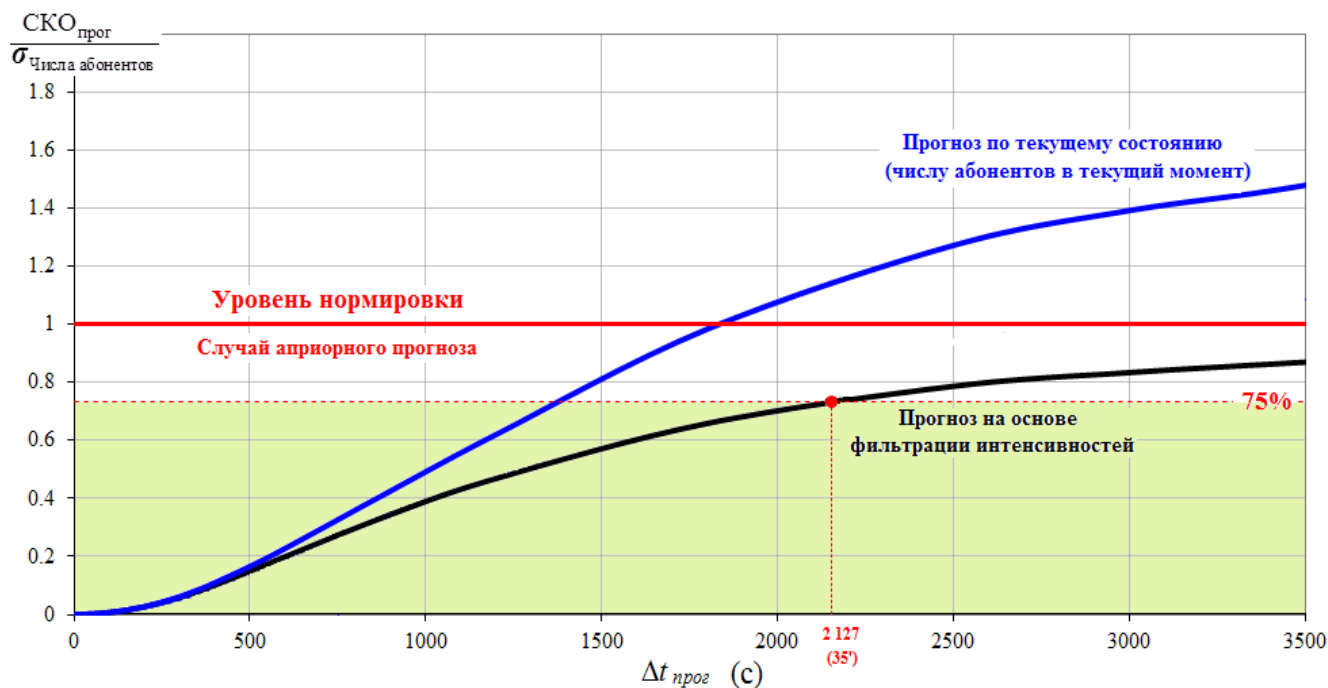


Рисунок 7 – Сопоставление ошибок прогноза числа абонентов для метода, построенного на основе фильтрации интенсивностей пуассоновских потоков (5) - (6), и метода прогноза по текущему числу абонентов

В результате получены границы временных интервалов, на которых целесообразно применение разработанного метода.

В четвертой главе решается задача разработки имитационной модели работы системы мобильной связи (на уровне отдельной соты). За основу взята методика аппарата сетей Петри. Для подвижного абонента сети предлагается ввести следующий перечень возможных состояний:

- 1) абонент вне зоны обслуживания соты (состояние «0»);
- 2) абонент входит в зону обслуживания соты (состояние «1»);
- 3) абонент устанавливает соединение в данной соте (состояние «2»);
- 4) абонент попадает в зону радиотени и теряет активное соединение, после чего канал еще какое-то время остается закрепленным за данным абонентом (состояние «3»);
- 5) в период, пока потерянный в зоне радиотени канал еще не возвращен в число доступных для использования, абонент, связанный с ним, может выйти из сот (состояние «4»).

Рисунок 8 поясняет возможные переходы между указанными состояниями.

На рисунке 9 показан граф переходов между введенными состояниями при моделировании поведения отдельного абонента.

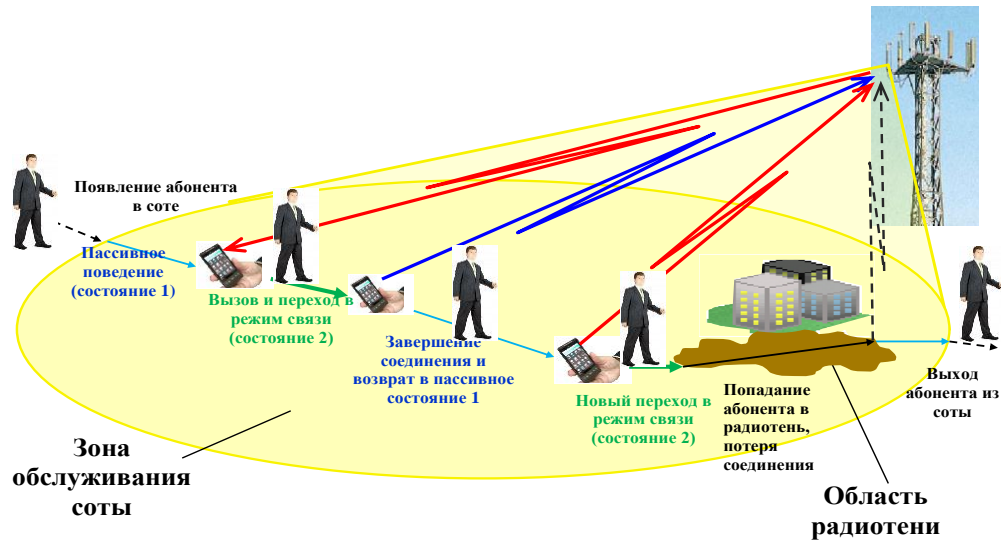


Рисунок 8 – Процесс появления абонента в сети, возможные акты занятия/освобождения канала связи, попадание в зону радиотени, потеря соединения и выход из соты

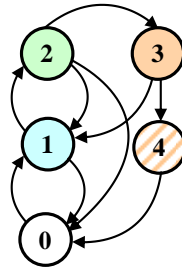


Рисунок 9 – Граф возможных переходов между состояниями абонента

В главе подробно рассматривается алгоритм моделирования, описываются его отдельные составляющие с детальной привязкой к аналитическим методам преобразований случайных величин, формирующих заданные вероятностные характеристики переходов на графе состояний. В качестве решения предлагается методика формирования цепочек переходов в скользящем временном окне ограниченного размера, позволяющая достигнуть значительного сокращения вычислительных затрат и размера памяти, необходимых для хранения информации о переходах, а также существенно уменьшить количество необходимых преобразований в случаях обработки ситуаций возникновения перегрузок. В главе дано развернутое описание алгоритма формирования цепочек и основных операций, составляющих его основу.

Указанный подход позволил в рамках одного программного комплекса моделировать работу системы мобильной связи от пикосот (с несколькими абонентами) до макросот (с числом абонентов в несколько десятков тысяч) при приемлемых временных затратах.

В результате удалось получить экспериментальные результаты, которые подтвердили хорошую точность полученных аналитических соотношений (3), (4) для описания ключевых показателей (GoS и CDR) с учетом скорости движения абонентов.

На рисунке 10 показаны экспериментальные результаты, полученные с помощью разработанной программы для такого показателя работы системы мобильной связи, как

блокировка вызова (GoS). Сплошными линиями отображены теоретические результаты, а маркеры показывают данные эксперимента. Также на рисунке 10 показаны результаты оценки повышения расчетной эффективности обслуживания трафика (относительно известного закона Эрланга В), полученные согласно (2).

Объем выборки в каждой позиции измерений составлял $5 \cdot 10^5$ испытаний. Это, в соответствии с центральной предельной теоремой, гарантирует с достоверностью 0.99, что относительная погрешность оценок, присутствующих на рисунке 10, не превышает 10%.

Как можно видеть, традиционная методика, построенная на статистике Эрланга В, дает слишком пессимистические оценки для сот с малым размером. Это необходимо учитывать при проектировании современных систем мобильной связи, у которых прослеживается тенденция к уменьшению сот.

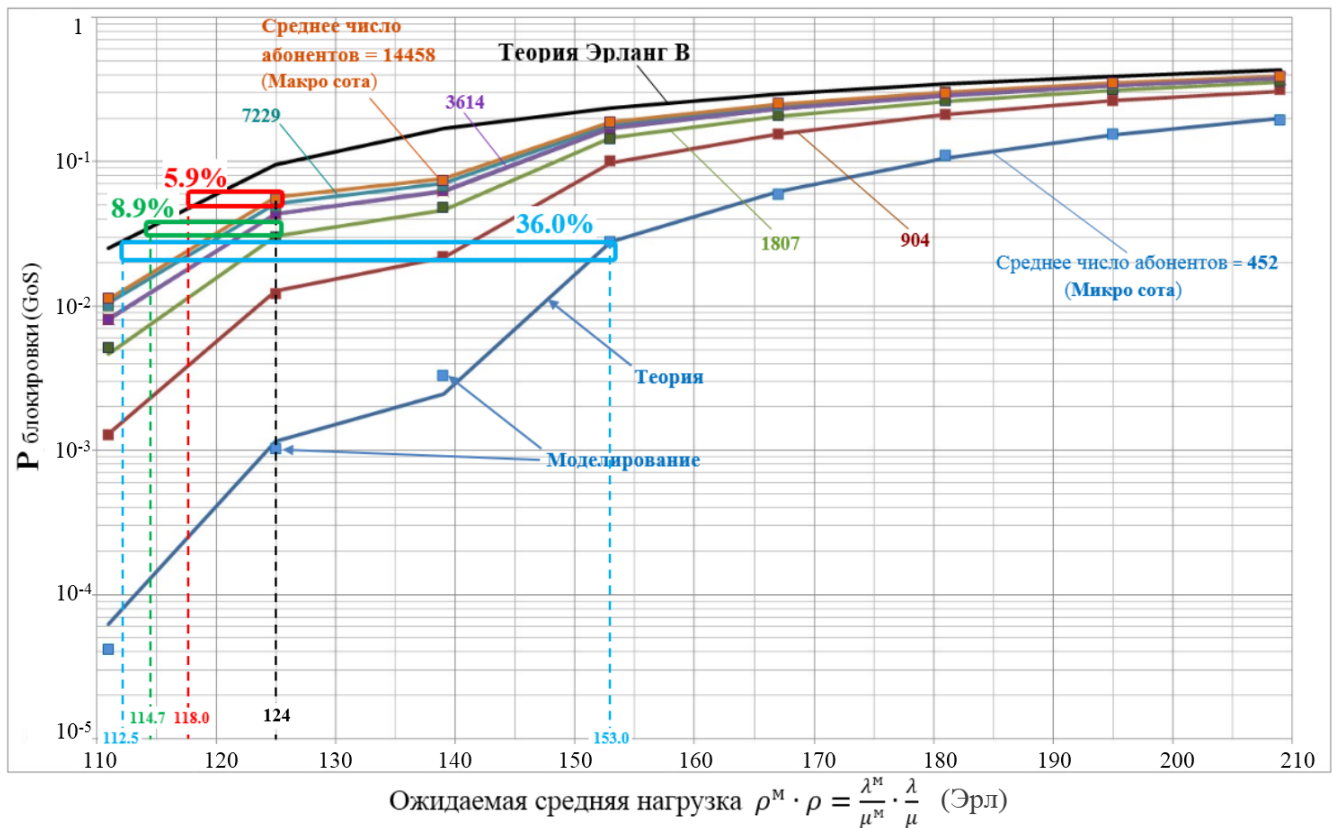


Рисунок 10 – Вероятность блокировки (GoS) в соте со 120 каналами от среднеожидаемой величины запрашиваемого трафика, для разного числа абонентов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан метод расчета и аналитические модели, позволяющие описывать совместное поведение ключевых показателей работы системы мобильной связи с учетом их взаимного влияния и с учетом зависимости от количества абонентов на обслуживаемой территории. Указанный метод и модели отличаются от известных эрланговских прототипов тем, что в них учитывается вероятностный характер поведения нагрузки, зависящей от концентрации абонентов в локальных зонах. В результате удалось составить систему уравнений баланса,

решение которой дает устойчивое распределение рассматриваемых показателей и учитывает их взаимовлияние. Предложенный подход приводит к описанию поведения отдельных сот, как подсистем массового обслуживания с двухслойной иерархической структурой. Размерность базового распределения, описывающего состояние соты, получилась равной трем.

2. Получено трехмерное совместное распределение для таких показателей как: число абонентов в зоне обслуживания; занятых каналов и потерянных из-за «обрывов» соединений каналов, которое позволило уточнить расчетные характеристики пропускной способности сот и повысить тем самым эффективность обслуживания трафика до 36% для микросот.

3. Исследовано влияние скорости движения абонентов в системе с OFDM сигналами на число «обрывов» соединений. Полученные результаты показывают, что это влияние может быть существенным и приводить в радиолиниях с модуляцией QAM-64 к эквивалентным потерям в отношении сигнал/шум более 5 дБ.

4. Разработан метод прогноза перегрузок в системе мобильной связи с учетом перемещения абонентов, основанный на решении задачи фильтрации интенсивности пуассоновского потока, когда поведение интенсивности описывается диффузионным стохастическим процессом. Получены квазиоптимальные правила фильтрации параметров классической системы массового обслуживания с пуассоновскими потоками в условиях нестационарного поведения. Это, в свою очередь, позволило применить аппарат фильтрации для прогноза изменения числа абонентов в зоне обслуживания и прогноза всплесков трафика.

5. Разработаны методика и программа имитационного моделирования, позволяющие исследовать фрагмент системы мобильной связи с учетом динамического поведения абонентов, потери каналов из-за «обрывов» соединений и блокировок вызовов. Результаты моделирования показали хорошее (в пределах погрешности не более 10%, при уровне достоверности 0.99) совпадение с данными теоретических расчетов по соотношениям, полученным из трехмерного распределения. Программа может быть использована для исследований широкого круга задач в системах мобильной связи, а также позволяет моделировать пуассоновские процессы, различающиеся по скорости протекания на несколько порядков.

6. Наиболее перспективными исследованиями в плане дальнейшего развития направления диссертационной работы представляются:

а) разработка подходов и базовых принципов для решения задачи описания с единых позиций работы систем мобильной связи и управления её ресурсами для достижения максимальной эффективности в рамках принятых критериев качества;

б) решение задачи стохастической фильтрации интенсивностей пуассоновских потоков в условиях сочетания в уравнениях «движения» компонент диффузионного типа со случайными интенсивными возмущениями, что позволит качественно повысить эффективность процедур прогноза перегрузок в системах мобильной связи, включив в них ситуации «эволюционного» и «катастрофического» характера.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Шорин, А.О. Качество обслуживания вызовов в сотовых системах связи с учетом замираний / А.О. Шорин, А.А. Орехов, О.А. Шорин // Вестник РАЕН. – 2009. – Т. 9. – № 2. – С. 57.
2. Шорин, А.О. Моделирование нагрузки соты с динамическим поведением мобильных абонентов с замираниями сигнала / А.О. Шорин // Динамика сложных систем - XXI век. – 2012. – Т. 6. – № 4. – С. 70-73.
3. Шорин, А.О. Предсказание перегрузок в системах подвижной радиосвязи / А.О. Шорин, А.М. Шлома // Электросвязь. – 2012. – № 3. – С. 51-53.
4. Шорин, А.О. Вероятность отказов в предоставлении соединений в сотовых системах связи с учетом мобильности абонентов и замираний сигнала / А.О. Шорин // Электросвязь. – 2013. – № 8. – С. 33-35.
5. Шорин, А.О. Исследование вероятности отказов в предоставлении соединений в сотовых системах связи с учетом мобильности абонентов и замираний сигнала / А.О. Шорин // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 10. – С. 120-126.
6. Шорин, А.О. Оценка оптимальных параметров OFDM-сигналов с учетом мобильности абонентов / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Электросвязь. – 2015. – № 12. – С. 60-65.
7. Шорин, А.О. Многофакторная имитационная модель обслуживания подвижных абонентов в мобильных системах связи / А.О. Шорин, Д.М. Малиничев, Д.А. Резинин // Радиотехника. – 2016. – № 5. – С. 121-126.
8. Шорин, А.О. Оптимизация размера кольцевой антенны и правила формирования территориальных кластеров для сотовой сети McWILL / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов, Г.О. Бокк // Электросвязь. – 2017. – № 1. – С. 22-27.
9. Шорин, А.О. Оценка влияния скорости перемещения абонентов на удельную интенсивность потока потерь соединений в сетях с OFDM-сигналами / А.О. Шорин // Электросвязь. – 2017. – № 1. – С. 35-39.
10. Шорин, А.О. Сопоставление эффективности сетей LTE и McWILL при передаче речи и коротких сообщений / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 57-66.
11. Шорин, А.О. Оптимизация ансамбля OFDM-сигналов в сетях мобильной связи / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 41-46.

Публикации в научных изданиях, не входящих в перечень ВАК

12. Шорин, А.О. Особенности построения систем мониторинга объектов ЖКХ на основе пакетных радиосетей / А.О. Шорин, В.Н. Акимов // Спецтехника и связь. – 2008. – № 2. – С. 49-59.
13. Шорин, А.О. Радиомодемы диапазонов VHF/UHF в задачах охраны и мониторинга объектов / А.О. Шорин, В.Н. Акимов, А.И. Бабин // Спецтехника и связь. – 2009. – № 1. – С. 50-58.

Публикации в материалах конференций

29 публикаций в материалах Российских и Международных конференций по проблемам развития систем сотовой связи и обработке сигналов, основными из которых являются:

14. Шорин, А.О. Сравнение стандартов 4G подвижной связи со стандартом McWILL / А.О. Шорин, Д.М. Малиничев, Д.А. Резинин // Сборник избранных статей научно-педагогического состава кафедры информационных систем, сетей и безопасности. – М.: РГСУ. – 2016. – С. 69-72.

15. Шорин, А.О. Оценка зависимости удельной интенсивности потерь соединений (ω) в сетях с OFDM сигналами от скорости перемещения абонентов (v) / А.О. Шорин // Сборник материалов (тезисов) 36-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – М.: ЗАО НИРИТ». – 2015. – С. 12-14.

16. Шорин, А.О. Имитационная модель обслуживания подвижных абонентов в мобильных системах связи / А.О. Шорин, Д.А. Резинин // Сборник трудов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (СТН-2015). – М.: ООО «Брис-М». – 2015. – С. 124-127.

17. Шорин, А.О. Исследование параметров на примере стандартов LTE и McWILL и их оценка, с учетом мобильности абонентов / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Сборник трудов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», труды конференции (СТН-2015). – М.: ООО «Брис-М». – 2015. – С. 136-138.

18. Шорин, А.О. Влияние мобильности абонентов на уровень интерференции в OFDM сигналах / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Сборник трудов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», труды конференции (СТН-2014). – М.: ООО «Брис-М». – 2014. – С. 114.

19. Шорин, А.О. Имитационная модель системы мобильной связи, учитывающая замирания сигнала в радиоканале и мобильность абонентов в системе / А.О. Шорин // сборник трудов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», труды конференции (СТН-2013). – М.: ООО «Брис-М». – 2013. – С. 112.

20. Шорин, А.О. Исследование вероятности потерь вызовов в мобильных системах связи с динамическим поведением мобильных абонентов и замираниями сигнала / А.О. Шорин // Седьмая отраслевая научная конференция «Технологии информационного общества». Программа научно-технических секций. – М.: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». – 2013. – С. 116.

21. Шорин, А.О. Отказ в предоставлении канала мобильной связи – характеристика системы информационной безопасности / А.О. Шорин // Научная сессия НИЯУ МИФИ, Аннотация докладов. – М.: МИФИ –2013. – Т. 2. – С. 228.

22. Шорин, А.О. Анализ загрузки в системах подвижной радиосвязи с динамическим поведением мобильных абонентов и замираниями сигнала / А.О. Шорин // Сборник трудов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (СТН-2012). – М.: ООО «Брис-М». – 2012. – С. 150-151.

23. Шорин, А.О. Особенности радиointерфейса стандарта NG-1 (McWILL) / А.О. Шорин, Р.С. Аверьянов // Сборник материалов (тезисов) 29-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – М.: ЗАО «НИРИТ». – 2011. – С. 14-29.

24. Шорин, А.О. Анализ процедур эстафетной передачи (хэндовера) в сетях сотовой связи / А.О. Шорин, В.Н. Акимов // Сборник материалов (тезисов) 27-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – М.: ЗАО «НИРИТ». – 2010. – С. 37-49.

25. Шорин, А.О. Фильтрация параметров трафика в системах подвижной радиосвязи / А.О. Шорин // Сборник материалов (тезисов) 26-й международной конференции РАЕН «Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». – М.: ЗАО «НИРИТ». – 2009. – С. 73-85.