

На правах рукописи

Терехов Алексей Николаевич

**РАЗВИТИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ СВЯЗИ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕЛЕФОННОЙ НУМЕРАЦИИ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования Московском техническом университете связи и информатики (ФГОБУ ВПО МТУСИ) на кафедре Телевидения и звукового вещания им. С. И. Катаева

Научный руководитель (консультант)

кандидат технических наук, доцент
Рысин Юрий Соломонович,
профессор кафедры «Экология, безопасность
жизнедеятельности и электропитание»
ФГОБУ ВПО МТУСИ.

Официальные оппоненты:

Волков Анатолий Алексеевич,
доктор технических наук, профессор,
«Московский государственный университет
путей сообщения» (МИИТ), кафедра
«Радиотехника и электросвязь», профессор;

Летников Андрей Иванович
кандидат технических наук,
Открытое акционерное общество
«Московская городская телефонная сеть»,
Заместитель директора Департамента
технического развития ОАО МГТС.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт связи» (ФГУП ЦНИИС).

Защита состоится «__» _____ 2015 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 219.001.03 при Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования Московском техническом университете связи и информатики по адресу: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, ФГОБУ ВПО МТУСИ, ауд. А – 448, зал Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://srd-mtuci.ru/index.php/ru/council> Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования Московского технического университета связи и информатики.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Учёный секретарь диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Ерохин С.Д.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие сетей связи направлено на увеличение числа абонентов, а также на улучшение количественных и качественных показателей предоставляемых услуг. Переходный процесс, в ходе которого реализуется развитие сетей связи, может привести к снижению качества восприятия предоставляемых услуг. Примером такого процесса служит изменение телефонных номеров, осуществляемое при переходе к международному плану нумерации или при увеличении числа абонентов в мегаполисах. Существующие методы оценки качества услуг и функционирования сети не позволяют оценить качество восприятия в процессе изменения нумерации, поэтому развитие методов оценки качества услуг, а также способы его повышения являются ключевым направлением данного исследования.

Для получения численных значений качества восприятия телефонных услуг применяются объективные методы оценки. Анализ зарубежной литературы показал, что исследования качества восприятия телефонных услуг при изменении телефонной нумерации не производились. Зарубежный опыт развития сетей связи демонстрирует единовременное и единообразное введение новой нумерации, что объясняет отсутствие метода оценки качества телефонных услуг. Отечественные исследования по обеспечению качества при переходе Московской ГТС на семизначную нумерацию производились на кафедре «Радиовещание и электроакустика». Решались следующие задачи: улучшения качества передачи речи по каналам связи и нормирования их параметров; определения заметности искажений и помех; увеличения срока службы информационных носителей; совершенствования звуковых трактов и устройств оповещения. Предшествующие исследования не могли учесть специфику перехода на 10-ти значную нумерацию (в 2013 г.), поэтому в диссертации выполнено развитие метода оценки и средств повышения качества восприятия телефонных услуг. Для обеспечения гарантированного качества услуг и определения допустимого порога его снижения, получаемого в процессе развития сетей связи, необходимо выявить и учесть их изменяющиеся параметры. Типовыми причинами снижения качества телефонных услуг, основанных на качестве восприятия-*Quality of Experience (QoE)*, является воздействие шумов и помех, а также влияние параметров функционирования сетей -*Network Performance (NP)* и качества обслуживания-*Quality of Service (QoS)*. Для существующих абонентов снижение *QoE*, привносимое современным развитием ГТС, усугублялось длительным и многообразным введением новой нумерации, а также несколькими вариантами набора телефонного номера из одного кода в другой.

Устранить последствия указанного снижения возможно за счёт своевременного оповещения абонентов о новом способе набора привычного для них телефонного номера. Анализ существующей базы Московской ГТС показал наличие нескольких поколений АТС, совместимых только на аналоговом уровне. Для информирования пользователей о новых телефонных номерах требуется обеспечить оповещение на всех типах АТС. Кроме того, из-за отсутствия методов расчёта вероятности охвата абонентов оповещением об изменении телефонной нумерации определялась экспериментально – итерационным путём. При этом показано, что для оповещения организаций

необходимо применять индивидуальный способ оповещения, соизмеримый по качественным показателям с групповыми.

Дополнительные аналитические исследования продемонстрировали возможность расширения области применения способов оповещения в составе: систем контроля качества восприятия телефонных услуг (с использованием интрузивных методов), устройств задержки интерактивного вещания и коррекции логоневроза (метод, основанный на задержке речевого сигнала).

Степень разработанности темы. Для решения поставленных задач применялись элементы теорий вероятности и массового обслуживания. Развитие метода оценки качества восприятия телефонных услуг связи выполнено на основе формализованной модели системы «Абонент–ТфОП–Среда акустическая». Исследование методов оценки качества сетей связи опирается на результаты работ российских учёных: Вемяна Г.В., Гордиенко В.Н., Горона И.Е., Покровского Н.Б., Сапожкова М.А. и др. Существенный вклад в их развитие внесли: Волков А.А., Гитлиц М.В., Докучаев В.А., Кочеров А.В., Летников А.И., Мишенков С.Л., Нетес В.А., Орлов В.Г., Попов О.Б., Пшеничников А.П., Шаврин С.С. и др. Среди зарубежных учёных следует отметить: *Veljkovica S.* (повторные попытки вызова); *Fletcher H., Robinson D. W.* (кривые равной громкости); *Itakura F., Markela J., Rabiner L., Saito S., Schafer W., Schröder M., Jakobson R.* (цифровая обработка, синтез и восприятие речи); *Hollier M., Soldani D., Li M., Sypli V.* (оценка *QoS* и *QoE* в системах связи). Анализ перечисленных работ и нормативных документов показывает недостаточную глубину исследований данной тематики применительно к процессу развития сетей связи.

Таким образом, анализ литературных источников показал недостаточную проработку методов оценки качества услуг связи, применяемых при изменении телефонной нумерации. Развитие метода оценки и средств повышения качества услуг связи направлено на обеспечение гарантированного качества восприятия в процессе изменения телефонной нумерации.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является развитие метода оценки качества услуг связи при изменении телефонной нумерации. Для достижения этой цели в диссертации решены следующие задачи:

1. Выполнено развитие метода интегральной оценки качества услуг связи применительно к процессу изменения телефонной нумерации.
2. Разработана модель для оценки качества восприятия услуг связи, позволяющая учесть способы оповещения об изменении телефонной нумерации и параметры акустической среды.
3. Создан алгоритм оценки качества восприятия телефонных услуг связи. Адаптирован метод расчёта коэффициента эффективных попыток вызовов к изменению телефонной нумерации.
4. Выявлены причины и получены оценки снижения качества восприятия услуг связи в процессе изменения телефонной нумерации.
5. Разработаны критерии восприятия услуг связи и определена вероятность прекращения оповещения при изменении телефонной нумерации.

6. Исследованы способы записи и методы кодирования речи для синтеза информационных сообщений, применяемых при изменении телефонной нумерации.

Научная новизна.

1. Выполнено развитие метода интегральной оценки качества услуг связи, отличающегося учётом восприятия пользователями изменения телефонной нумерации и позволяющего сформулировать требования к услуге «Информирование абонентов об изменении телефонной нумерации».

2. Предложено использовать формализованную модель «Абонент–ТфОП– Среда акустическая» для оценки качества восприятия услуг связи, отличающуюся от известных учётом способов оповещения об изменении телефонной нумерации и параметров акустической среды.

3. Создан и реализован на ПЭВМ алгоритм оценки качества восприятия пользователями телефонных услуг связи, отличающийся учётом субъективной составляющей коэффициента эффективных попыток вызовов и специфики русского языка при передаче сложносоставных числительных по сетям с коммутацией пакетов.

4. Разработана процедура оценки вероятности охвата абонентов оповещением об изменении телефонной нумерации, гарантирующая качество восприятия услуг связи.

5. Разработаны критерии восприятия услуг связи при изменении телефонной нумерации, позволяющие определить порог прекращения оповещения пользователей и отличающиеся учётом параметров среды передачи информации.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость имеют: полученная зависимость оценки качества восприятия телефонных услуг связи от объективных параметров качества обслуживания, позволяющая использовать её при расчёте интегрального восприятия абонентом оказываемой услуги; уточненный коэффициент эффективных попыток вызовов и необходимая длительность автоматизированного оповещения абонентов об изменении нумерации; предложенные и обоснованные критерии и соответствующий им диапазон допустимых оценок качества восприятия при развитии сетей связи; разработанный подход для обеспечения заданной вероятности охвата абонентов оповещением об изменении нумерации.

Практической ценностью обладают: разработанный программно-аппаратный комплекс, имитирующий влияние совокупности параметров функционирования сетей связи (задержка, джиттер, потеря IP-пакетов и т.д.) на оценку качества восприятия телефонных услуг связи; предложенный алгоритм, позволяющий определить вероятность прекращения оповещения пользователей об изменении телефонной нумерации.

Полученные результаты диссертации внедрены в виде одноканальных и четырёхканальных устройств оповещения об изменении телефонной нумерации на Московской ГТС, что позволило перейти на 10-значную нумерацию (2013 г.) без существенного снижения оценки качества восприятия телефонных услуг связи, **реализованы в НИР** «Разработка методик оценки

качества восприятия пользователем (*QoE*) мультисервисных услуг по параметрам качества обслуживания (*QoS*) и концепции автоматического непрерывного контроля качества телефонной передачи «из конца в конец» в разделе, посвященном качеству восприятия телефонных услуг связи, проводимой по заказу ОАО «Ростелеком» в 2012 г., а также использованы в учебном процессе кафедр «Телевидение и звуковое вещание им. С.И. Катаева», «Экология, безопасность жизнедеятельности и электропитание» в ФГОБУ ВПО МТУСИ. Полученные теоретические и практические результаты работы подтверждаются соответствующими актами.

Методология и методы исследования. Результаты диссертационной работы получены с применением элементов методов теории вероятности и массового обслуживания. При оценке качества передачи и разборчивости речи использованы субъективные (парных сравнений, балльной оценки) и объективные (интрузивные, неинтрузивные, моделируемые) методы, выполнено компьютерное моделирование, результаты которого подтверждены экспериментом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Для применения метода интегральной оценки качества услуг связи к процессу изменения телефонной нумерации необходимо дополнительно учитывать установленную в диссертации зависимость качества восприятия от изменения параметров функционирования сетей.

2. При интегральной оценке качества телефонных услуг рекомендовано применять модель «Абонент–ТфОП– Среда акустическая». В данной модели использована установленная в процессе изменения телефонной нумерации зависимость качества восприятия услуг связи от способов оповещения и параметров акустической среды.

3. Для оценки качества восприятия и определения коэффициента эффективных попыток вызовов в сетях с коммутацией пакетов предложено применять фразовую разборчивость сложносоставных числительных и учитывать продолжительность оповещения абонентов об изменении телефонной нумерации.

4. Для повышения оценки качества услуг связи при изменении телефонной нумерации предложено использовать разработанные рекомендации по применению способов оповещения.

5. Для определения порога прекращения оповещения пользователей об изменении телефонной нумерации рекомендуется использовать разработанные критерии восприятия услуг связи, учитывающие параметры среды передачи информации.

6. Для обеспечения высокой разборчивости информационных сообщений, используемых при изменении телефонной нумерации, рекомендуется применять выбранные в диссертации способы записи и метода кодирования речи.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы в период 2002 – 2014 гг. докладывались и обсуждались более чем на 20 научно-технических конференциях и форумах, в том числе международных: межрегиональных конференциях Московского НТОРЭС им. А. С. Попова «Обработка сигналов в системах теле-

фонной связи и вещания»; научных конференциях профессорско-преподавательского, научно-го и инженерно-технического состава МГУСИ; международных НТК «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения»; международных научно-технических школах-конференциях «Молодые учёные»; отраслевых научных конференциях «Технологии информационного общества»; международной НТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии»; международных научно-технических школах-конференциях «Интерматик»; отраслевых научных конференциях «Телекоммуникационные и вычислительные системы» и др.

По теме диссертации опубликовано 8 статей в **перечне рецензируемых научных изданий**, имеется 1 авторское свидетельство на изобретение, 4 свидетельства о регистрации программных продуктов.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 273 наименований, 17 приложений. Работа изложена на 131 странице, содержит 63 рисунка и 27 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные научные результаты, определена их практическая значимость и область применения, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследованы и проанализированы основные методы и средства оценки качества телефонных услуг связи. В ходе анализа результатов исследований выявлено, что современные методы оценки качества телефонных услуг связи основаны на восприятии пользователей. Предложено уточнение термина «качество восприятия» к виду «интегральной оценки качества восприятия (*QoE*) телефонных услуг связи». Оценка *QoE* телефонных услуг должна включать в себя качество: передачи речевого сигнала; предоставления услуги; функционирования сети; обслуживания пользователей; каналов и т.п. Предложены и обоснованы составляющие качества восприятия телефонных услуг связи. Выявлено, что затрата времени на доступ к получению информации является определяющей при оценке *QoE* услуг телефонной связи. Переход на 10-значную нумерацию приводит к снижению оценки *QoE* за счёт увеличения длительности набора и значности набираемого номера, что увеличивает вероятность появления ошибок. При исследовании факторов влияющих на оценку качества обслуживания пользователей телефонных услуг, учитывались: оповещение пользователей услуг связи, рассмотренное на модели «Человек – Машина – Среда»; затраты времени абонентов на получение информации; качественные показатели речевого сообщения.

Перспективным способом записи и хранения речевой информации является многоуровневая *flash*-память, обеспечивающая высокую плотность записи, обладающая электроакустическими параметрами и характеристиками, соответствующими требованиям к устройствам передачи речи по телефонным каналам. Для определения разборчивости речи, передаваемой

посредством *IP*-сетей, необходимо использовать сложносоставные числительные (применяемые при изменении телефонной нумерации), как наиболее чувствительные к джиттеру и задержке *IP*-пакетов элементы речи. Анализ выбранных литературных источников и нормативных документов, адаптируемых к оценке качества восприятия телефонных услуг связи при развитии и/или при введении перспективных услуг связи, показал отсутствие: методов, позволяющих интегрально оценить качество предоставляемых телефонных услуг на основе современных сетей связи; взаимосвязи между *QoE* и *QoS*, а также их терминов и, как следствие, возникновение недопонимания между операторами и абонентами.

Особенности оказания услуг местной связи не учитывают: минимальные сроки оповещения абонентов об изменении телефонного номера; необходимость оповещения абонентов в случае индивидуальной замены абонентских номеров. Для оценки качества телефонных услуг связи и порога возникновения дискомфорта предложены следующие показатели: разборчивость, естественность и узнаваемость речи в различных акустических условиях; количество цифр в набираемом номере; воздействие параметров каналов связи, способов записи и методов кодирования информации; длительность оповещения пользователей услуг связи об изменении телефонной нумерации; энергонезависимость хранения и надёжность передаваемой информации; психофизиология абонентов.

Таким образом, в результате анализа основных аспектов и методов, определяющих качество восприятия телефонных услуг, выявлена необходимость решения следующих задач: адаптации модели «Человек-Машина-Среда» для интегральной оценки качества услуг телефонной связи; расчёта количества и длительности оповещения пользователей услуг связи об изменении нумерации; определения вероятности работоспособности аудиоинформационных устройств (АИУ) с электропитанием посредством произвольной АЛ.

Вторая глава посвящена развитию метода оценки качества восприятия телефонных услуг связи и средств его повышения. При разработке процедуры оценки вероятности охвата абонентов оповещением об изменении телефонной нумерации показано, что процесс реализации оповещения является ординарным и не имеющим последствий стационарным потоком событий. Предложенная процедура позволяет рассчитать необходимое для информирования абонентов количество АИУ.

После изменения телефонной нумерации увеличивается длительность установления телефонного соединения, зависящая от наличия сведений об изменившемся номере. Количество повторов передачи информации об изменённом номере $N_{\text{повтор}} = z \cdot \lg(N_{\text{разр.}}/N_{\text{порог.}})$, где z -показатель, характеризующий степень осведомлённости человека о процессе изменения номера; $N_{\text{разр.}}$ - количество цифр, изменяемых в привычном номере; $N_{\text{порог.}}$ - экспериментально установленный порог изменения телефонного номера, при котором не требуется повторная передача информации.

Для расчёта вероятности работоспособности случайно выбранного АИУ на произвольной абонентской линии предложен алгоритм, включающий математическую модель и выявление соответствия полученных распределений токов потребления и обеспечения известным законам. Предложены основные составляющие, влияющие на восприятие оповещения: устройства кодирования и хранения информации, каналы передачи информационного сигнала и электропитание.

Для повышения оценки *QoE* услуг телефонной связи выполнено предварительное исследование каналов передачи и накопителей информации, устройств управления, осуществлены объективные и субъективные испытания качества передачи речи на Московской ГТС и выработаны рекомендации по применению АИУ с электропитанием посредством АЛ. В ходе исследований выявлено, что при изготовлении многоуровневой *flash*-памяти допускается наличие консервативных ячеек, состояние которых не изменяется при осуществлении процедуры перезаписи информации. Классифицировано четыре типа консервативных ячеек, отличие в которых определяется потенциалом, зафиксированным в процессе производства.

Исследована оценка качества обслуживания пользователей услуг телефонной связи на формализованной модели «Абонент-ТфОП-Среда акустическая» (А-ТфОП-СА) (рисунок 1). В данной модели АИУ являются буфером между абонентами, поэтому для оценки *QoE* телефонных услуг связи, опираясь на закон Вебера-Фехнера, установлена связь между параметрами речевых сигналов, передаваемых по ТфОП, и ощущениями человека.



Рисунок 1. Формализованная модель «Абонент-ТфОП-Среда акустическая»

Последовательность построения алгоритма анализа влияния мешающих факторов на функционирование модели А-ТфОП-СА с помощью «дерева причин» (метода декомпозиции) потенциального происшествия состоит в выборе потенциального события (головного события) и выявления факторов, приводящих к заданному головному событию. Работа имитационной модели сводится к нахождению точечного значения функциональной зависимо-

сти между оценками негативных факторов, влияющих на оценки качества телефонных услуг связи и вероятностью неблагоприятных событий в системе А-ТфОП-СА. На рисунке 2 представлена зависимость фразовой разборчивости сложносоставных числительных от длительности пауз между их элементами.

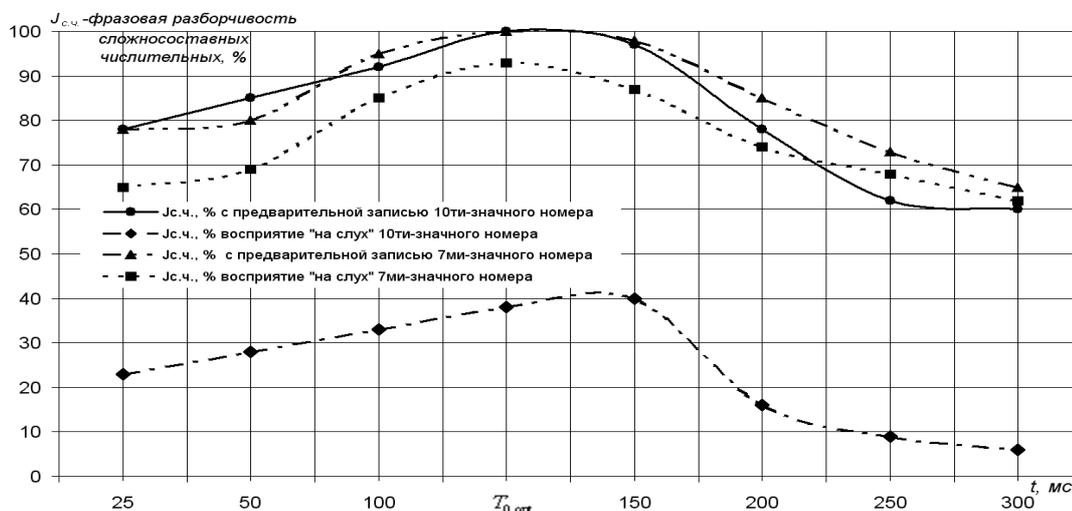


Рисунок 2. Зависимость фразовой разборчивости сложносоставных числительных от длительности пауз между их элементами

Для выявления доли различных факторов, а также коэффициентов веса, влияющих на QoE , выполнены социологические опросы среди абонентов телефонной сети. Значимость полученных показателей и их ранжирование определяется экспертами. Достоверность и надежность информации определяется объёмом и репрезентативностью выборки. Для оценки интегрального показателя качества обслуживания пользователей услуг телефонной связи $I_{QoE}(QoS)$ выполнено развитие метода, основывающееся на: последовательности проведения контрольных вызовов; порядке проведения компьютерного моделирования; порядке получения и обработки результатов эксперимента [ГОСТ Р 50779.21-96]; субъективном восприятии объективных параметров сетей связи при передаче по ним сложносоставных числительных с учётом изменения коэффициента эффективных попыток вызова ($K_{ЭПВ\ ИИТ}$):

$$I_{QoE}(QoS) = K_{ЭПВ\ ИИТ} + \sum_{i=2}^n K_i \cdot Y_i = K_{ЭПВ\ QoS} \cdot K_{ЭПВ\ QoE} \cdot K_{ПОВТ.\ ИИТ} + \sum_{i=2}^n K_i \cdot Y_i, \quad (1)$$

где $K_{ЭПВ\ QoS}$ - коэффициент эффективных попыток вызова, определяется по [РД 45.056-2000]; $K_{ЭПВ\ QoE}$ - коэффициент эффективных попыток вызова, учитывающий субъективные факторы восприятия передаваемого телефонного номера; $K_{ПОВТ.\ ИИТ}$ - корректирующий коэффициент, учитывающий долю вызовов по изменённым номерам; K_i - значение весовых коэффициентов; Y_i - функция пересчета.

Таким образом, выполненное развитие метода интегральной оценки качества услуг связи, основанное на восприятии пользователей, позволяет сформулировать требования к услуге «Информирование абонентов об изменении телефонной нумерации». Применение формализованной моде-

ли «Абонент-ТфОП-Среда акустическая» учитывает способы оповещения об изменении телефонной нумерации и параметры акустической среды при оценке качества восприятия услуг связи.

В третьей главе произведено моделирование процессов, определяющих восприятие пользователями телефонных услуг связи. Выполнена модификация методов оценки качества передачи речи, необходимая при разработке аудиоинформационных систем или комплексов с применением новых методов кодирования или хранения информации. В ходе сравнительного анализа способов записи и методов кодирования информации выявлен наиболее перспективный способ записи речевой информации – многоуровневая *flash*-память, при котором не осуществляется квантование речевого сигнала.

Предложен метод оценки интегрального показателя качества обслуживания пользователей телефонных услуг связи $I_{QoS}(QoS)$, основанный на регрессионно-корреляционном анализе. Формула (2) для определения рейтинга показателей интегральной оценки качества телефонных услуг связи I_{QoS} представляет собой мультипликативную модель. «Приоритетному» показателю присваивается «вес», равный сумме «весов» групповых показателей:

$$I_{QoS} = x_1^{\omega_1} \cdot x_2^{\omega_2} \cdot \dots \cdot x_n^{\omega_n}, \quad (2)$$

где: $x_i = \frac{x_{i \text{ текущее}}}{x_{\text{пороговое}}}$ – относительный частный показатель группировочного признака,

$x_{i \text{ текущее}}$ – текущее значение данного объективного параметра, $x_{\text{пороговое}}$ – значение порога ответов на уровне ошибок; ω_i – весовой коэффициент частного показателя (коэффициент веса, учитывающий характеристики функционирования телефонной сети).

Учёт логарифмической зависимости между субъективными показателями и объективными параметрами позволяет перейти от мультипликативной модели к аддитивной. Введение в формулу $lg(I_{QoS}) = \sum_{i=1}^n lg x_i^{\omega_i}$ (закон Вебера–Фехнера) коэффициентов взаимосвязи α_i позволяет получить зависимость субъективных показателей качества обслуживания от объективных параметров качества телефонных услуг связи, отраженную в формуле (3), $K_{ЭПВQoS}$ – коэффициент эффективных попыток вызова, учитывающий субъективную составляющую мешающих факторов:

$$K_{ЭПВQoS} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot lg x_i^{\omega_i}. \quad (3)$$

Выразив $\omega_i \cdot lg \left(\frac{x_{i \text{ текущее}}}{x_{\text{пороговое}}} \right)$ через δ_i , получим уравнение линейной регрессии:

$$K_{ЭПВQoS} = \alpha_1 \cdot \delta_1 + \alpha_2 \cdot \delta_2 + \dots + \alpha_n \cdot \delta_n, \quad (4)$$

где: δ_i – логарифм частных показателей группировочного признака, умноженный на

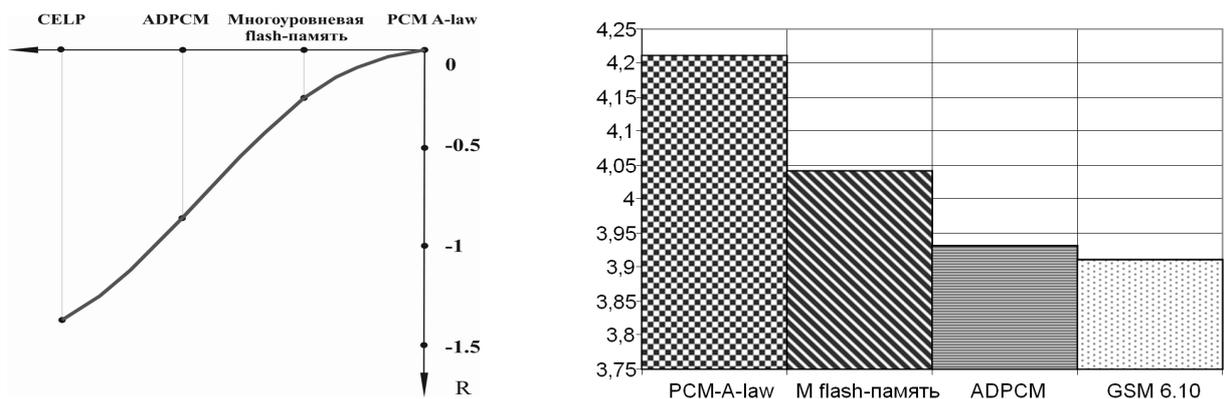
весовой коэффициент ω_i ; α_i - весовые коэффициенты взаимосвязи восприятия абонентом изменения объективных параметров: α_1 - длительности оповещения об изменении телефонной нумерации; α_2 - разборчивости речевого сообщения, определяемый потерей, задержкой, джиттером и искажениями IP-пакетов; α_3 - времени доступа к информации; α_4 - сложности доступа (известен факт изменения телефонного номера); α_5 - качества передачи речи.

В процессе присвоения весовых коэффициентов корреляционно-регрессионным способом сложилась ситуация, когда по оценке экспертов для определения рейтинга телефонных услуг связи важный показатель был исключен из уравнения регрессии. Поэтому был использован экспертно-регрессионный метод определения весовых коэффициентов с учётом которого формула 1 приняла вид:

$$I_{QoS}(QoS) = K_{ЭПВQoS} \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^m (N_{ПННQoS})}{\sum_{j=1}^m (N_{ОбщQoS})} \right) \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \left(\frac{N_{Изм.НОМ}}{N_{Общ.НОМ}} \right) \right) + \sum_{i=2}^n K_i \cdot Y_i, \quad (5)$$

где $N_{ПННQoS}$ - количество правильно набранных номеров; $N_{ОбщQoS}$ - общее количество номеров, набранных одним экспертом; m - число экспертов; $N_{Изм.НОМ}$ - количество изменённых номеров; $N_{Общ.НОМ}$ - общее количество номеров.

На $K_{ПОВТ.АМВ}$ оказывает влияние применяемый при оповещении метод кодирования информации. Результаты, представленные на рисунке 3, отражают оценку качества передачи речи, выполненную субъективными методами для применяемых при оповещении об изменении телефонной нумерации методов кодирования и способов записи информации.



а) Психологическая шкала реакций при различных методах кодирования

б) Результаты оценки качества передачи речи методом заданных категорий (балльных оценок)

Рисунок 3. Оценка качества передачи речи субъективными методами

Связь между возбудителем и соответствующим ему ощущением – реакцией R (рисунок 3а) подтверждает результаты оценки качества методом заданных категорий, что позволяет судить о достоверности результатов, полученных в результате модификации метода оценки, учитывающего специфику оповещения об изменении телефонной нумерации.

Исследованная зависимость качества передачи речевой информации от числа перезаписей в многоуровневую *flash*-память показала, что число перезаписей более 3 приводит к снижению слоговой разборчивости речи ниже уровня, допустимого для использования в каналах связи высшего качества.

Определена зависимость *QoE* от длительности оповещения об изменении телефонной нумерации. Выявлено, что прекращение аудиоинформационного обслуживания приводит к снижению *QoE*. Для его сохранения необходимо обеспечить оповещение в течение 1 года. Набранная статистика зависимости мощности, отдаваемой АЛ, от их длины и отмеченная тенденция к сокращению длин АЛ позволяют рекомендовать их для электропитания АИУ.

В результате анализа восприятия человеком различных звуковых раздражителей (речи, импульсов), действующих на человека с временной задержкой, предложен нулевой дифференциальный порог по восприятию запаздывающих акустических сигналов:

$$P_{\text{зап0}} = \Delta L / \theta_{\text{зап}}, \quad (6)$$

где: ΔL – минимальный перепад уровней звука, который ощущает человек, $\Delta L = 1$ дБ ;
 $\theta_{\text{зап}}$ – усредненная длительность задержки эхо-сигнала, ощущаемая человеком, $\theta_{\text{зап}} = 50$ мс .
Тогда $P_{\text{зап0}} = 20$ дБ/с.

Основываясь на эффекте задержки речи, предложен способ задержки интерактивного вещания, обеспечивающий снижение потока некорректной информации в прямом эфире.

Таким образом, предложенный метод оценки интегрального показателя качества обслуживания, выполненное моделирование факторов, определяющих качество восприятия пользователями телефонных услуг и модификация методов оценки качества передачи речи, позволяют осуществить разработку АИУ и оценить результат от их применения. Разработанный алгоритм оценки качества восприятия телефонных услуг связи учитывает субъективную составляющую коэффициента эффективных попыток вызовов и специфику русского языка при передаче сложносоставных числительных по сетям с коммутацией пакетов.

Четвертая глава посвящена реализации метода оценки качества восприятия услуг телефонной связи и средств его повышения при изменении телефонной нумерации, а также экспериментальной проверке разработанных в предыдущих главах методов, моделей и программно-аппаратных решений. Опытным путем подтверждено выражение вероятности работоспособности АИУ на АЛ. В общем случае распределение токов, обеспечиваемых посредством АЛ, имеет нормальный закон распределения. Анализ перспектив развития ТфОП показал, что наметилась тенденция к сокращению длин линий, что позволит использовать АИУ с ЭПИ на всех АЛ. Для увеличения оценки *QoE* услуг телефонной связи предложена реализация устройства, способствующего повышению скорости передачи в каналах связи за счёт использования избыточности комплекса шумоподобных сигналов и усложнения технической реализации аппаратуры. При изменении телефонной нумерации на Московской ГТС из-за отсутствия аналитических методов требуемое количество АИУ было получено практическим путём, итера-

ционным методом. Проведенные исследования позволили определить основные факторы, влияющие на вероятность охвата абонентов оповещением: топология сети связи; соотношение числа новых АТС к модернизируемым; интенсивность модернизации ГТС; степень отличия нового телефонного номера от привычного абоненту; длительность информационного обеспечения абонентов об изменении нумерации. В ходе исследований выявлено, что модернизация ГТС осуществляется с интенсивностью потока, являющегося стационарным, пуассоновским. Следовательно, требуется решить задачу с целевой функцией – минимизировать количество АИУ. Разработанное программное обеспечение позволяет изменять значения дисциплинирующих условий (интенсивность, длительность и количество устанавливаемых АИУ; средняя длительность обслуживания одной заявки на модернизацию АТС); находить количество АИУ, задаваясь ограничением вероятности отказа в их установке и наоборот.

Выполненное исследование числа повторов измененного телефонного номера связано с современным развитием сетей связи, которое сопровождалось отсутствием одновременного и единообразного перехода на новую нумерацию и многообразием вариантов набора из одного кода в другой. Численным отображением этих причин является снижение коэффициента ЭПВ за счёт изменения привычной телефонной нумерации. Зависимость необходимого числа повторов информации об изменённом телефонном номере $N_{пов}$ от сложности изменения телефонного номера $S_{слож}$ показана на рисунке 4.

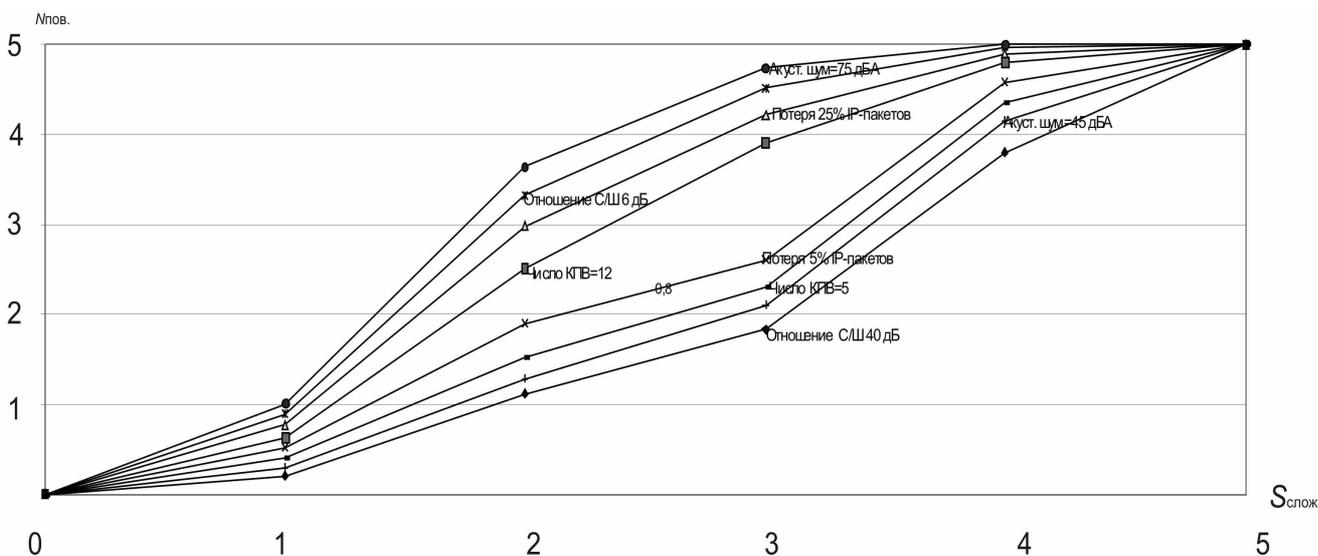


Рисунок 4. Зависимость необходимого количества повторов речевой информации об изменённом телефонном номере от: сложности изменения номера, процента потери IP-пакетов, отношения С/Ш, уровня внешнего акустического шума и количества контрольных посылок вызова (КПВ)

При проведении опроса использованы анкеты с закрытыми вопросами, ответами по пятибалльной шкале и названиями, отражающими цель исследования, указаны общие сведения о респондентах (пол, возраст, род занятий, образование и т. д.). Процентное соотношение вопросов, определённых испытуемыми в качестве приоритетных, дают предварительные коэффициенты веса (Таблица 1) для основных составляющих QoE .

Таблица 1. Критерии и коэффициенты оценки качества восприятия (QoE) телефонных услуг связи при изменении нумерации

Критерии воздействующих факторов	Абсолютные (относительные) критерии воздействующих факторов $x_i = x_{i \text{ текущее}} / x_{\text{пороговое}}$					Коэфф. взаимосвязи α_i	$K_{ЭПВQoE}$
	0 (0)	3 (1,78)	6 (2,44)	12 (2,87)	более 12 (2,89)		
Длительность оповещения об изменении телефонной нумерации, месяцев	0 (0)	3 (1,78)	6 (2,44)	12 (2,87)	более 12 (2,89)	0,28	0,325
Фразовая разборчивость, %	менее 25 (0,044)	25 – 40 (0,22)	40-56 (2)	56-80 (2,4)	80 – 100 (2,88)	0,24	0,182
Число КПВ перед ответом, шт.	более 12 (0,021)	9–12 (0,023)	6–9 (1,1)	3–6 (1,88)	менее 3 (2,33)	0,18	0,011
Степень изменения телефонного номера	5 (0,020)	4 (0,024)	3 (1,04)	2 (1,55)	1 (1,66)	0,14	0,05
Требуемое пользователями качество передачи информации	1 (0,019)	2 (0,025)	3 (0,11)	4 (1,11)	5 (1,4)	0,075	0,015
Уровень окружающ. шума, дБА	более 75 (0)	65-75 (0,018)	55-65 (0,026)	45-55 (0,29)	менее 45 (1,33)	0,07	0,028
Соотношения сигнал/шум, дБ	менее 6 (0)	6-15 (0,020)	15-25 (0,024)	25-35 (0,066)	более 35 (0,22)	0	0
Весовой коэффициент частного показателя (ω_i)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0		
Оценка в затруднениях	очень сильное	сильное	умеренное	легкое	не ощущалось		
Оценка в баллах	1	2	3	4	5		
Оценка в %	20	40	60	80	100		
MOS-оценка воспринимаемой информации	< 1,7	1,7-2,5	2,5-3,0	3,0-4,0	4,0-4,5		
Качество услуги, получаемое пользователем	не допуст.	не удов.	удовл.	хорошее	отлич.		
$K_{ЭПВQoS}$ - коэффициент эффективных попыток вызова, определяется по [РД 45.056-2000]							0,99999
$K_{ЭПВQoE}$ - коэффициент эффективных попыток вызова, учитывающий субъективное восприятие пользователями объективных параметров сетей связи (имитационное моделирование)							0,536
$K_{ПОВТ.АИУ}$ - коэффициент, учитывающий вызовы по изменённым номерам с установленными на них АИУ (если изменены все номера $K_{ПОВТ.АИУ} = 0,5$, если нет изменений $K_{ПОВТ.АИУ} = 1$)							0,5 – 1
$K_{ЭПВ \text{ инт}} = K_{ЭПВQoS} K_{ЭПВQoE} K_{ПОВТ.АИУ}$ - интегральный коэффициент эффективных попыток вызова							0,268 - 0,536
$K_{ЭПВQoEэ}$ - коэффициент эффективных попыток вызова, учитывающий субъективное восприятие пользователями объективных параметров сетей связи (натурный эксперимент)							0,571
Относительная погрешность результатов имитационного моделирования и натурального эксперимента							6,5 %
$x_{i \text{ текущее}}$ - текущее значение фактора							
$x_{\text{пороговое}}$ - порог восприятия фактора на уровне ошибок исследования (45 ответов или 3%)							
В постмодернизационный период факторы, определяющие качество обслуживания, могут изменяться.							

Таким образом, разработанная процедура оценки вероятности охвата абонентов оповещением об изменении телефонной нумерации позволяет гарантировать качество восприятия услуг связи. Разработанные критерии восприятия услуг связи позволяют определить временной порог прекращения оповещения пользователей при изменении телефонной нумерации.

Экспериментальная проверка подтверждает достоверность выполненного развития метода интегральной оценки качества восприятия телефонных услуг связи, разработанных моделей, а также программно-аппаратных решений. Кроме того, дополнительные исследования показали,

что предложенный метод, основанный на искусственном эхе, может быть использован при лечении заикания, а также для улучшения комфортности приёма радиопередач. В приложении к диссертации приведены результаты субъективно-статистических экспертиз, опросов, произведённых измерений параметров и характеристик аппаратуры, а также декларация о соответствии разработанного АИУ с электропитанием посредством АЛ требованиям «Правила применения окончного оборудования, подключаемого к ТфОП».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Выполнено развитие метода интегральной оценки качества телефонных услуг, отличающееся учётом восприятия пользователями процесса развития сетей и позволяющее сформулировать требования к услуге «информирование абонентов об изменении телефонной нумерации». Внедрение требований к новой услуге позволит обеспечить гарантированное качество обслуживания пользователей, осуществляемое в процессе изменения телефонной нумерации.

2. Разработана модель «Абонент–ТфОП–Среда акустическая» для оценки качества восприятия услуг связи, учитывающая специфику формирования передаваемых и принимаемых сообщений об изменении телефонной нумерации по сетям с коммутацией пакетов.

3. Создан и реализован на ПЭВМ алгоритм имитационного моделирования оценки качества восприятия пользователями телефонных услуг, учитывающий параметры сетей связи. Адаптирован метод расчёта коэффициента эффективных попыток вызовов на основе восприятия качества обслуживания к изменению телефонной нумерации. По результатам имитационного моделирования получены зависимости необходимого количества повторов оповещения об изменённом телефонном номере от различных факторов.

4. Выявлены причины снижения качества восприятия услуг связи в процессе изменения телефонной нумерации. Исследована возможность применения рекомендаций международных организаций по стандартизации качества обслуживания и восприятия для получения численной оценки этого снижения.

5. Разработаны критерии восприятия услуг связи, соответствующие им оценки качества и их допустимый диапазон и алгоритм определения вероятности прекращения оповещения пользователей об изменении телефонной нумерации.

6. Исследованы способы записи и методы кодирования речи для синтеза информационных сообщений с учётом специфики восприятия передаваемых сложносоставных числительных, применяемых при изменении телефонной нумерации.

7. Полученные в диссертации результаты внедрены на Московской ГТС в качестве устройств оповещения об изменении телефонной нумерации, реализованы в НИР «Разработка методик оценки качества восприятия пользователем (*QoE*) мультисервисных услуг по параметрам качества обслуживания (*QoS*) и концепции автоматического непрерывного контроля качества телефонной передачи «из конца в конец» в разделе, посвященном качеству восприятия телефонных услуг связи, проводимой по заказу ОАО «Ростелеком» в 2012 г., а также использованы в учебном процессе кафедр ТиЗВ им. С.И. Катаева, ЭБЖиЭ в ФГОБУ ВПО МТУСИ. Полученные результаты работы подтверждается соответствующими актами.

8. Результаты исследования рекомендуется использовать операторам связи, проектным и исследовательским организациям при оценке качества предоставляемых и планировании новых телефонных услуг, в том числе в период развития сетей.

9. Диссертация охватывает все поставленные задачи, связанные с исследованием качества восприятия телефонных услуг связи, предоставляемых посредством сетей с коммутацией каналов, и может служить дальнейшей основой для оценки сервиса, обеспечиваемого системами с коммутацией пакетов.

**Список публикации по теме диссертации в перечне
рецензируемых научных изданий и приравненных к ним:**

1. Орлов В.Г., Терехов А.Н. Телефонный аудиоинформатор с питанием от абонентской линии ГТС. Вестник связи, №2, 2006. – С. 38 – 41.

2. Терехов А.Н. Аудиоинформационные устройства – средство повышения комфортности телефонного общения. Вестник связи, №8, 2008.– С. 71 – 72.

3. Манонина И.В., Рысин Ю.С., Терехов А. Н. Энергетические аспекты аудиоинформационных устройств. Т-Сотт - Телекоммуникации и транспорт, №6, 2010. – С. 20 – 23.

4. Терехов А.Н. Вероятность функционирования наугад выбранного аудиоинформационного устройства на произвольной абонентской линии. Т-Сотт - Телекоммуникации и транспорт, №2, 2011. – С. 40 – 43.

5. Терехов А.Н. Повышение надёжности установления телефонного соединения за счёт использования аудиоинформационных устройств. Т-Сотт - Телекоммуникации и транспорт, №2, 2011. – С. 44 – 46.

6. Терехов А.Н. Проект методики расчёта оптимального количества аудиоинформационных устройств, необходимого для информирования абонентов ТфОП об изменении телефонной нумерации. Т-Сотт - Телекоммуникации и транспорт, №4, 2012. – С. 79 – 82.

7. Терехов А.Н. Проект методики интегральной оценки качества телефонного общения при модернизации сетей и/или введении новых услуг связи. Т-Сотт - Телекоммуникации и транспорт, №10, 2012. – С. 112 – 116.

8. Рысин Ю.С., Терехов А.Н. Алгоритм оценки влияния негативных факторов на качество телефонного общения. Т-Сотт-Телекоммуникации и транспорт, №10, 2012. – С. 96 – 98.

9. Орлов В.Г., Терехов А.Н. Программа управления малогабаритным автоинформационным четырёхканальным программно-аппаратным комплексом. РОСПАТЕНТ – Свидетельство №2003612619, 2003.

10. Орлов В.Г., Терехов А.Н. Программа управления малогабаритным автоинформационным одноканальным программно-аппаратным устройством. РОСПАТЕНТ – Свидетельство №2003612620, 2003.

11. Орлов В.Г., Терехов А.Н. Программа управления автоматизированным аудиоинформационным устройством с электропитанием от абонентской телефонной линии ГТС. РОСПАТЕНТ – Свидетельство №2008611467, 2008.

12. Разумов В.И., Терехов А.Н. Устройство передачи дискретной информации шумоподобными сигналами в многолучевых каналах с переменными параметрами. Патент № 2371866, Россия от БИ № 30 от 27.10. 2009.

13. Манонина И.В., Терехов А.Н. Программа управления аудиоинформационным устройством с «энергонезависимой» передачей речевой информации для ГТС. РОСПАТЕНТ – Свидетельство №2011611227, 2011.