

На правах рукописи

Степанов Михаил Сергеевич

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ОБОБЩЕННОЙ  
МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫЗОВОВ В  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНТАКТ-ЦЕНТРАХ**

Специальность 05.12.13 —  
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 2016 г.

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) на кафедре «Сети связи и системы коммутации»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор **Пшеничников Анатолий Павлович**, зав. кафедрой «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ

Официальные оппоненты:

**Росляков Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет связи и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ), зав. кафедрой «Автоматическая электросвязь»

**Гайдамака Юлия Васильевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН), доцент кафедры «Прикладная информатика и теория вероятностей»

Ведущая организация:

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

Защита состоится 16 июня 2016 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 219.001.04 при ордена 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 <http://srd-mtuci.ru/index.php/ru/council> МТУСИ.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 219.001.04  
кандидат технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ Максим Валерьевич Терешонок

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Во всем мире расширяется использование контакт-центров для предоставления разного рода справочно-информационных услуг. Согласно статистике, более 60 % операционных затрат подобных служб составляет заработная плата операторов. По этой причине оптимизация численности операторов является одной из ключевых задач администрации контакт-центров. Ее решение невозможно без построения математической модели, адекватно описывающей работу контакт-центров. Использование классических моделей с потерями или ожиданием приводит к значительным погрешностям, поскольку в них не учитываются особенности построения действующих и перспективных контакт-центров. К ним относятся: наличие предварительного голосового обслуживания (IVR); использование операторов и консультантов; учет возможности повторения заявки из-за нехватки необходимого ресурса; возможность поступления заявок по каналам сети Интернет.

Таким образом, построение обобщенной модели контакт-центра, учитывающей перечисленные выше особенности их функционирования, проведение ее исследования и разработка методов расчета характеристик является актуальной задачей, имеющей большое значение для повышения эффективности использования инфраструктуры контакт-центров. Ее решение позволит находить оптимальные соотношения между параметрами потоков запросов на информационное обслуживание и характеристиками пропускной способности контакт-центра, обеспечивающие гарантированное качество обслуживания клиентов.

**Степень разработанности темы.** Поставленная задача решалась на базе моделей и методов теории телетрафика, а также возможностей, заложенных в механизмы управления процессом обслуживания заявок в современных контакт-центрах. Различным аспектам решения данной задачи посвящены работы российских и зарубежных авторов: Башарина Г.П., Гайдамаки Ю.В., Гольдштейна Б.С., Ефимушкина В.А., Кучерявого А.Е., Пшеничникова А.П., Рослякова А.В., Степанова С.Н., Самуйлова К.Е., Соколова Н.А., Borst S., Brandt A., Dawson K., Koole G., Mandelbaum A., Stolletz R., Reiman M., Zeltyn S. и др. Отдельные вопросы построения и исследования моделей call- и контакт-центров рассматривались в диссертационных работах: Белова М.Н., Бельской Н.М., Ваняшина С.В., Дибя В.Н., Зарубина А.А., Ухловской Л.Г., Чан Туан Миня и др. Анализ публикаций и выполненных диссертационных исследований показал, что в большинстве работ либо изучалось действие какого-то одного фактора на процесс функционирования справочного-информационного центра (например, квалификация

операторов, наличие автоответчиков, возможность ожидания начала обслуживания, повторение заблокированной заявки, поствызывная работа оператора, наличие нескольких видов запросов и т.д.), либо предлагались эмпирические методики, направленные на повышение эффективности мониторинга и управления работой контакт-центра. При этом использовались самые простые модели теории телетрафика, естественно, после соответствующей интерпретации входных параметров и характеристик. Задача анализа комплексного воздействия перечисленных факторов на работу контакт-центра в должном объеме не рассматривалась, что и определило направление исследований, выполненное в диссертации.

**Цели и задачи работы.** Построение и исследование обобщенной модели обслуживания заявок в контакт-центре с учётом совместного влияния основных факторов, определяющих их функционирование; разработка точных и приближенных алгоритмов оценки показателей качества обслуживания клиентов; разработка методик оценки необходимого числа линий доступа, операторов, устройств IVR, а также значений параметров, прямое измерение которых затруднено из-за необходимости разделения поступающих заявок на первичные и повторные.

#### **Научная новизна.**

1. Построена и исследована обобщенная модель обслуживания заявок в контакт-центре, которая позволила учесть совместное влияние основных значимых факторов, определяющих работу современных справочных служб. Среди них: дифференцированное обслуживание клиентов (IVR, операторы и консультанты); наличие ограничения на время пребывания заявки на ожидании; возможность повторения заблокированной заявки и возможность поступления заявок по каналам сети Интернет.
2. Построена система уравнений статистического равновесия, связывающая значения стационарных вероятностей модели и разработан алгоритм ее решения. Получены выражения для оценки характеристик качества обслуживания заявок через значения входных параметров и стационарных вероятностей обобщенной модели контакт-центра. Среди них: интенсивности и потери заявок, дифференцированные по этапам обслуживания; средние значения функциональных компонент состояния (среднее число абонентов, повторяющих вызов, среднее число занятых операторов и т.д.); вероятности и средние длительности пребывания заявок на ожидании начала обслуживания и др.
3. Получены соотношения между основными характеристиками работы контакт-центра. Показано их использование для косвенной оценки тех

параметров и характеристик модели, которые затруднительно измерять прямыми методами, в частности, формулы для оценки величины интенсивности поступления первичных вызовов.

4. Разработаны две процедуры приближенного расчета построенной модели, основанные на применении асимптотических значений характеристик, полученных при стремлении к нулю интенсивности повторения запросов, и на реализации техники декомпозиции. В первом случае для вычисления оценок используются значения характеристик аналогичной модели контакт-центра, но без учета возможности повторения запроса и с увеличенной интенсивностью поступления первичных вызовов. Во втором — исследуемая модель разбивается на отдельные части, которые затем рассчитываются независимо друг от друга. Влияние отдельных функциональных блоков друг на друга учитывается введением поправочных коэффициентов, которые получаются из результатов измерений или специальных соотношений. В исследуемой модели последовательность блоков выбирается из последовательности этапов обслуживания заявки: устройства IVR, операторы и консультанты.
5. Сформулирована двухэтапная процедура оценки числа операторов и линий доступа. Задача первого этапа — определение предварительного значения числа операторов при фиксированном количестве линий доступа. На втором этапе эта величина уточняется в результате последовательного изменения числа операторов и линий доступа и проверки достижения заданных значений показателей качества обслуживания поступающих заявок: доли потерянных заявок и средней величины задержки начала обслуживания.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в построении и исследовании обобщенной модели обслуживания заявок в контакт-центре, которая позволила учесть совместное влияние основных значимых факторов, определяющих функционирование современных справочных служб, а также в разработке точных и приближенных алгоритмов расчета подобных моделей. Получены программные реализации построенных в диссертации алгоритмов. Разработанный инструментарий рекомендуется использовать при решении задач планирования инфраструктуры контакт-центров и теоретическом обосновании действий администрации, направленных на повышение эффективности их работы. Результаты диссертации использованы в ПАО МГТС в виде методики оценки необходимого числа операторов справочно-информационной службы, а также использованы в учебном процессе на кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ. Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами.

**Методы исследования.** Для решения поставленной задачи применялись методы теории телеграфика, теории вероятностей и вычислительной математики.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Анализ опыта работы контакт-центров, выполненный по результатам опубликованных исследований, показал эффективность дифференциации процесса обслуживания заявок. Она заключается в использовании устройств IVR и разделении операторов на отдельные группы по их компетенциям. Другой важной тенденцией является наличие существенной доли повторных запросов в поступающем потоке заявок, вызванных отказами на этапах их обслуживания.
2. Построенная обобщенная модель позволила учесть совместное влияние основных значимых факторов, определяющих качество работы современных контакт-центров. Среди них: наличие устройств IVR; использование операторов и консультантов; наличие ограничения на время ожидания начала обслуживания; возможность повторения заявки; возможность поступления заявки по каналам сети Интернет.
3. Для оценки значений характеристик качества обслуживания заявок в рамках построенной модели контакт-центра рекомендуется использовать метод, основанный на решении системы уравнений равновесия итерационным алгоритмом Гаусса-Зейделя. Этот подход позволяет рассчитать характеристики для контакт-центров с числом операторов и консультантов, достигающим нескольких десятков.
4. В общем случае для оценки характеристик качества обслуживания заявок рекомендуется использовать приближенные методы, основанные на применении асимптотических значений характеристик, полученных при стремлении к нулю интенсивности повторения запросов, или на реализации техники декомпозиции. Численный анализ точности показал, что в большинстве практически интересных случаев относительная погрешность оценки характеристик лежит в пределах 5...10 %.
5. Разработанную модель и алгоритмы рекомендуется использовать для решения задач оценки числа операторов, консультантов и линий доступа, обеспечивающих заданные значения показателей качества обслуживания клиентов контакт-центра: доли потерянных заявок и средней величины задержки начала обслуживания, а также для исследования зависимости характеристик от особенностей поступления и обслуживания заявок, учитываемых в модели.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Полученные теоретические результаты обоснованы доказательствами с использованием математических методов теории телеграфика, подтверждены численными экспериментами. Достоверность положений и выводов диссертации подтверждается апробацией работы, основные результаты которой обсуждались и докладывались на международной научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (Москва, 2009–2014 гг.), на отраслевой научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (Москва, 2009–2015 гг.), на Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем» (Москва, 2012, 2015 гг.), на кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ. По материалам диссертации опубликованы 18 работ, в том числе 7 — в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России.

**Основное содержание работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть (без приложений) изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 8 таблиц; список литературы состоит из 106 наименований. Приложения изложены на 7 страницах машинописного текста.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы выбор темы диссертации, ее актуальность, научная новизна, перечислены цели и основные задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, выполнен анализ путей развития контакт-центров.

**В первой главе** диссертации показана перспективность использования дифференцированного обслуживания клиентов (операторы, консультанты), а также устройств IVR, синтезаторов речи и других элементов искусственного интеллекта для повышения эффективности работы справочных служб. Также показано, что перенос на клиентов части функций по коммутации запросов повысил зависимость входного потока заявок от реакции абонента на неудачную попытку соединения. Для научно обоснованной оценки объема инфраструктуры контакт-центров (линии доступа, устройства IVR, операторы и консультанты) необходимо построить модель контакт-центра, учитывающую перечисленные выше факторы, а также показать возможность применения модели для решения практических задач, возникающих в процессе проектирования и эксплуатации контакт-центров. Несмотря на актуальность проблематики, анализ выполненных исследований показал недостаточность полученных ранее результатов для решения рассмотренных вы-

ше задач. Первая глава заканчивается постановкой задачи исследования.

**Вторая глава диссертации** посвящена построению и исследованию обобщенной модели контакт-центра. Предполагалось, что запросы абонентов на получение информационных услуг поступали в контакт-центр по линиям доступа и далее обслуживались устройствами IVR, операторами и, в случае необходимости, консультантами. Структура и взаимодействие основных функциональных элементов действующих и перспективных контакт-центрах показаны на рисунке 1. Введены следующие обозначения:  $n$  — число

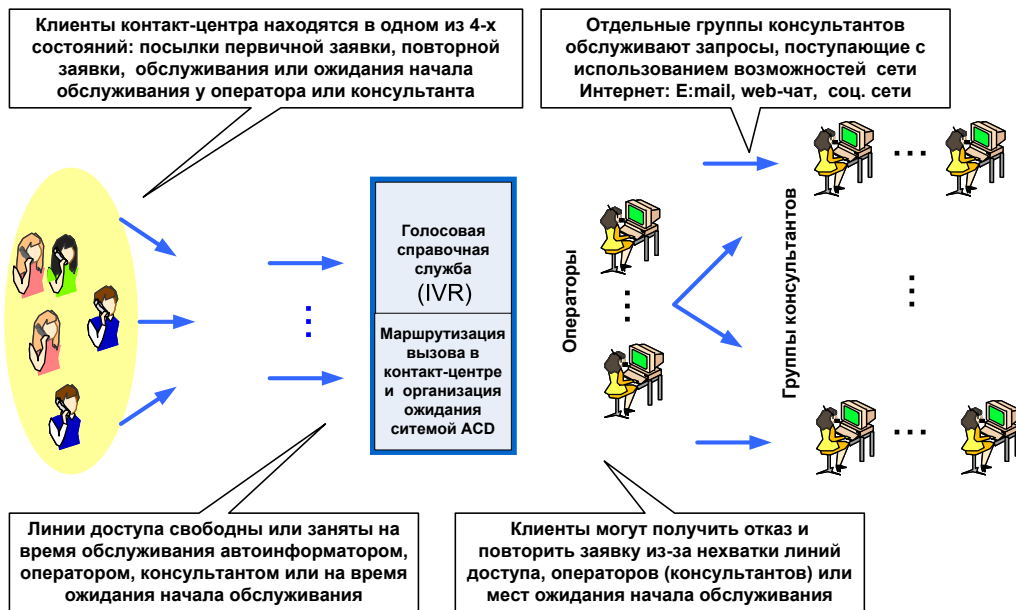


Рисунок 1. Функциональная модель контакт-центра

линий доступа,  $v$  — число операторов,  $v_k$  — число консультантов в  $k$ -й группе,  $k = 1, \dots, m$ . Линия доступа остается занятой, если вызов находится на обслуживании или ожидании, следовательно,  $n \geq v + \sum_{k=1}^m v_k$ . Избыток линий доступа используется абонентами для ожидания обслуживания, если таковое необходимо из-за нехватки операторов или консультантов.

Предполагалось, что поток первичных заявок — пуассоновский с интенсивностью  $\lambda$ . Повторные запросы возникают в результате отсутствия свободных линий доступа, нехватки операторов, консультантов и мест ожидания их освобождения, а также после неудачного завершения времени ожидания. Во всех случаях абонент с вероятностью  $H$  повторяет заявку через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром  $\nu$ , а с дополнительной вероятностью  $1 - H$  покидает систему необслуженным. Повторная заявка обрабатывается также, как и первичная.

Обслуживание клиента включает в себя три этапа: прием информационного сообщения от IVR, получение общей справочной информации от оператора и получение специализированной справочной информации от кон-



сультанта. Предполагалось, что длительности первых двух этапов имеют экспоненциальное распределение с параметрами, равными соответственно  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , а время обслуживания заявки в  $k$ -й группе консультантов имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\beta_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ . С вероятностью  $q$  после завершения первого этапа обслуживания наступает второй, а с вероятностью  $pr_k$  после завершения второго этапа клиент продолжает обслуживание в  $k$ -й группе консультантов,  $\sum_{k=1}^m p_k = 1$ . С вероятностями соответственно  $1 - q$ ,  $1 - p$  клиент получает требуемое обслуживание на первом или втором этапах и покидает систему. Если нет свободных операторов или консультантов, то заявка становится на ожидание, если имеются свободные места. Предполагалось, что время ожидания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром  $\sigma$ , если это ожидание у оператора или  $\sigma_k$ , если это ожидание у консультанта из  $k$ -й группы. Через  $w$  обозначено число мест ожидания у операторов, а через  $w_k$  — число мест ожидания в  $k$ -ой группе консультантов,  $k = 1, \dots, m$ .

Заявки с доступом через сеть Интернет обслуживаются отдельной группой консультантов по схеме, которая используется для заявок с доступом через сети общего пользования (фиксированные и мобильные). Таким образом,  $k$ -ая группа консультантов может обслуживать либо телефонные запросы, либо интернет-запросы. Подобное разделение трафика связано со спецификой обработки интернет-запросов и практикуется в крупных контакт-центрах, например, в контакт-центре компании ПАО МТС. Поскольку обслуживание интернет-запросов происходит независимо с помощью частного случая исследованной далее модели, то из дальнейшего формализованного описания работы контакт-центра они исключены. Исследуемая модель контакт-центра показана на рисунке 2.

Изменение состояний модели описывалось многомерным марковским процессом  $r(t) = (j(t), i(t), l(t), l_1(t), \dots, l_m(t))$ , где  $j(t)$  — число клиентов, повторяющих в момент времени  $t$  вызов,  $i(t)$  — число занятых в момент времени  $t$  линий доступа,  $l(t)$  — число занятых в момент времени  $t$  операторов и мест ожидания,  $l_k(t)$  — число занятых в момент времени  $t$  консультантов из  $k$ -й группы и мест ожидания,  $k = 1, \dots, m$ . Функционирование  $r(t)$  рассматривалось в стационарном режиме, для существования которого было достаточно потребовать выполнения неравенств  $H < 1$  и  $\nu > 0$ . Процесс  $r(t)$  принимал значения, принадлежащие пространству состояний  $S$ , куда входят состояния  $(j, i, l, l_1, \dots, l_m)$ , удовлетворяющие условиям:  $j = 0, 1, \dots$ ;  $i = 0, 1, \dots, n$ ;  $l = 0, 1, \dots, v + w$ ;  $l_k = 0, 1, \dots, v_k + w_k$ ;  $k = 1, \dots, m$ ;  $i \geq l + l_1 + l_2 + \dots + l_m$ . Через  $P(j, i, l, l_1, \dots, l_m)$  обозначены вероятности стационарных состояний модели.

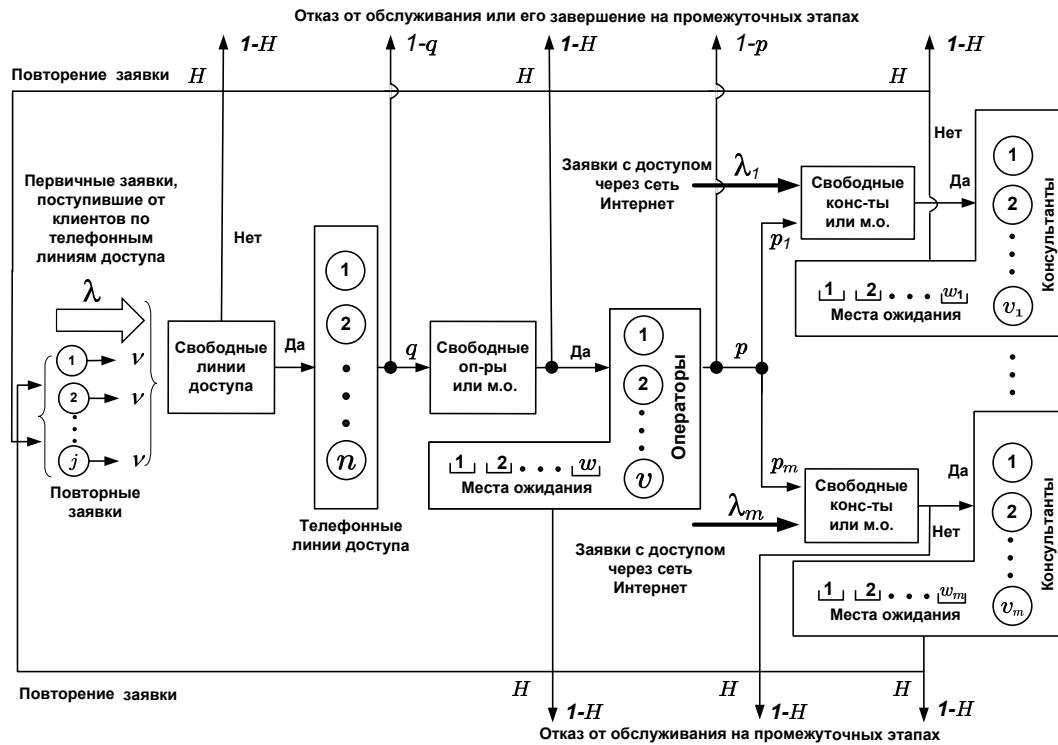


Рисунок 2. Схема функционирования математической модели контакт-центра

Формальные выражения для оценки показателей обслуживания заявок следовали из их физического смысла и получались через отношение интенсивностей анализируемых событий или их усреднение по специальным образом выбранным подмножествам состояний  $S$ . В перечень показателей, представляющих интерес при теоретическом анализе модели и ее практическом использовании, были включены четыре группы характеристик: средние значения переменных функциональных компонент; интенсивности поступающих, потерянных и обслуженных заявок, дифференцированные по этапам обслуживания; потери заявок, дифференцированные по этапам обслуживания; интегральные показатели качества обслуживания заявок.

Характеристики первой группы представляли самостоятельное значение или использовались как составляющие компоненты в выражениях для других характеристик. Через  $M_r$ ,  $M_a$ ,  $M_i$ ,  $M_\ell$ ,  $M_{\ell,k}$  обозначены средние значения соответственно числа абонентов, повторяющих вызов; числа занятых линий доступа; числа занятых устройств IVR; числа занятых операторов и числа занятых консультантов из  $k$ -группы. Характеристики второй группы представляли собой усредненные значения интенсивностей потоков заявок, дифференцированные по результатам прохождения этапа обслуживания (получившие отказ или успешно завершившие обслуживание). Через  $\Lambda_a$ ,  $\Lambda_o$ ,  $\Lambda_{c,k}$  обозначены средние значения интенсивностей потоков первичных и повторных заявок поступающих соответственно на линии доступа, к

операторам и к консультантам  $k$ -группы. Через  $\Lambda_{a,bl}$ ,  $\Lambda_{o,bl}$ ,  $\Lambda_{c,k,bl}$  обозначены значения интенсивностей потоков первичных и повторных заявок, получивших отказ соответственно на линиях доступа, у операторов и консультантов  $k$ -группы. Характеристики третьей группы представляли собой доли заявок, поступивших на определённый этап обслуживания и потерянных либо из-за занятости операторов (консультантов) и мест ожидания их освобождения, либо в результате выполнения ограничения на допустимое время ожидания. Обозначим через  $\pi_a$ ,  $\pi_o$ ,  $\pi_{c,k}$  значения доли заявок потерянных соответственно на линиях доступа, у операторов и у консультантов из  $k$ -группы. Характеристики четвертой группы описывали с общих позиций процесс поступления и обслуживания заявок в контакт-центре. К ним были отнесены:  $\pi_g$  — доля потерянных заявок от общего числа поступивших;  $\pi_r$  — доля заявок, отказавшихся от установления соединения;  $M$  — среднее число повторных заявок на одну первичную;  $Q$  — среднее число отказов на одно завершённое обслуживание. Формальные определения для нескольких из введенных характеристик приведены ниже<sup>1</sup>:

$$\Lambda_a = \sum_{\{(j,i,\ell,\ell_1,\dots,\ell_m)\} \in S} P(j,i,\ell,\ell_1,\dots,\ell_m)(\lambda + j\nu); \quad (1)$$

$$\Lambda_{a,bl} = \sum_{\{(j,i,\ell,\ell_1,\dots,\ell_m)\} \in S | i=n} P(j,i,\ell,\ell_1,\dots,\ell_m)(\lambda + j\nu); \quad \pi_a = \frac{\Lambda_{a,bl}}{\Lambda_a};$$

$$\pi_g = \frac{\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl}}{\Lambda_a}; \quad \pi_r = \frac{(\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl})(1 - H)}{\lambda};$$

$$Q = \frac{\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl}}{M_i \alpha_1 (1 - q) + M_\ell \alpha_2 (1 - p) + \sum_{k=1}^m M_{\ell,k} \beta_k}; \quad M = \frac{M_r \nu}{\lambda}.$$

Точные значения этих и других характеристик находились после решения системы уравнений равновесия.

Построенную модель можно использовать для решения разного рода задач, относящихся к планированию инфраструктуры контакт-центров. Корректность их решения во многом зависит от точности входных параметров, используемых при проведении вычислений. Одним из основных параметров модели является интенсивность поступления первичных заявок  $\lambda$ . Сложность оценки данного показателя, а также ряда других интегральных характеристик работы контакт-центра связана с необходимостью разделения общего потока поступающих вызовов на первичные и повторные. Сделать

<sup>1</sup>Оставшиеся характеристики из рассмотренного перечня определяются аналогичным образом и здесь для экономии места не приводятся.

это при проведении массовых измерений весьма сложно, поскольку приходится отслеживать процесс взаимодействия с контакт-центром каждого клиента. Было сделано предположение, что из результатов измерений известны значения общей интенсивности поступающих заявок  $\Lambda_a$  и общей доли потерянных заявок  $\pi_g$ . Во второй главе диссертации получены формулы

$$\lambda = \Lambda_a (1 - \pi_g H), \quad \pi_r = \frac{\pi_g (1 - H)}{(1 - \pi_g H)}, \quad M = \frac{\pi_g H}{1 - \pi_g H}, \quad Q = \frac{\pi_g}{1 - \pi_g}$$

для косвенной оценки  $\lambda$  и ряда других интегральных показателей обслуживания заявок. Понятно, что они справедливы в рамках построенной модели. Исследуемая модель в общем виде описывала процесс поступления и обслуживания заявок в контакт-центрах. Ее частные случаи составили семейство упрощенных моделей, которые можно использовать для анализа отдельных функциональных компонент контакт-центра, например обслуживания интернет-запросов. Будучи частными случаями, эти модели обладали более простыми алгоритмами оценки показателей обслуживания заявок. Во второй главе диссертации рассмотрены четыре упрощенных модели контакт-центров: без консультантов; без предварительного операторского обслуживания; классическая модель Эрланга с ограниченными временем и числом мест ожидания и модель полнодоступной системы с ограниченными временем, числом мест ожидания и учетом повторных вызовов.

В **третьей главе диссертации** рассмотрены основные этапы решения системы уравнений равновесия для построенной модели контакт-центра с помощью итерационного метода Гаусса-Зейделя. Среди них: выбор начальных значений итерационного процесса, формула для рекурсивного вычисления последовательных приближений, критерий останковки итерационного цикла. Найдено алгебраическое представление системы уравнений равновесия в виде, удобном для последующей реализации метода Гаусса-Зейделя. Полученное выражение дало возможность записать все уравнения системы уравнений равновесия в виде одного соотношения с коэффициентами, вычисляемыми с помощью рекуррентных формул, зависящих от компонент состояния модели. Ниже приведены левая часть системы и первые два слагаемых правой части ( $I(\cdot)$  — индикаторная функция,  $c = \ell + \ell_1 + \dots + \ell_m$ )

$$\begin{aligned} & P(j, i, \ell, \ell_1, \dots, \ell_m) \times \left\{ I(i < n)(\lambda + j\nu) + I(i = n)(\lambda H + j\nu(1 - H)) + \right. \\ & + I(i > c)(i - c)\alpha_1 + I(\ell > v)((\ell - v)\sigma + v\alpha_2) + I(0 < \ell \leq v)\ell\alpha_2 + \\ & \left. + \sum_{k=1}^m \left( I(\ell_k > v_k)((\ell_k - v_k)\sigma_k + v_k\beta_k) + I(0 < \ell_k \leq v_k)\ell_k\beta_k \right) \right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= P(j, i - 1, \ell, \ell_1, \dots, \ell_m) I(i > 0, i - 1 \geq c) \lambda + \\
&+ P(j - 1, i, \ell, \ell_1, \dots, \ell_m) I(j > 0, i = n) \lambda H + \dots
\end{aligned}$$

В полном виде система уравнений равновесия и способ ее формирования рассмотрены в 3-ей главе. Элементы матрицы находились в процессе реализации итерационного алгоритма, а не хранились в памяти компьютера. Это значительно упростило применение метода и дало возможность увеличить число состояний в исследуемой модели до нескольких миллионов.

**В четвертой главе** диссертации построены приближенные алгоритмы расчета обобщенной модели контакт-центра и рассмотрено ее использование для решения нескольких практических задач. Численный анализ модели, выполненный во 2-ой главе, показал устойчивость доли потерянных заявок к изменениям  $\nu$ . Это позволило рекомендовать для приближенной оценки характеристик контакт-центра метод, основанный на пуассоновской замене потока повторных вызовов на пуассоновский. Для вычисления оценок использовались характеристики аналогичной модели контакт-центра, но без учета возможности повторения вызова и с увеличенной интенсивностью поступления первичных вызовов, которая определялась из решения системы неявных уравнений. Необходимые расчетные выражения приведены в тексте диссертации. Численно исследована точность оценок. Относительная погрешность вычисления основных показателей обслуживания заявок составила 5...10 %. Она уменьшается в области больших потерь и увеличивается в области малых потерь.

Для расчета характеристик модели также рекомендуется использовать процедуру декомпозиции. Суть метода заключалась в разбиении исследуемой системы, а, следовательно, и модели, на отдельные части, которые затем рассчитывались независимо друг от друга. Взаимное влияние отдельных функциональных блоков учитывалось введением поправочных коэффициентов, которые получались из результатов измерений или специальных соотношений. В исследуемой модели последовательность блоков была выбрана из последовательности этапов обслуживания заявки. В модели их всего три: обслуживание на линии доступа, обслуживание у оператора и обслуживание у консультанта. Детали реализации алгоритма приведены в 4-ой главе, там же выполнено численное исследование точности, которое показало, что относительная погрешность оценки основных показателей обслуживания заявок составляет несколько процентов.

В 4-ой главе диссертации также рассмотрено использование построенной модели и алгоритмов ее расчета для решения нескольких важных для практики задач. В их числе: исследование влияния повторных вызовов на оценку необходимого по нагрузке количества операторов; планирование числа

операторов и линий доступа и оценка влияния IVR на численность операторов. Далее приведены краткие результаты, относящиеся к решению второй из перечисленных задач. Из опыта работы контакт-центров было принято, что значения показателей CAPEX и OPEX, отнесенные на одного оператора, выше, чем значение аналогичного показателя, рассчитанное на одну линию доступа. Следовательно, экономически целесообразно использование дополнительных линий доступа вместо дополнительного числа операторов. Выполнение указанных действий ограничено требованием о соблюдении заданных норм обслуживания абонентов: вероятности допуска заявки и ограничения на время ожидания начала обслуживания. Процедура оценки числа операторов и линий доступа была разбита на два этапа. На первом этапе число операторов принималось равным числу линий доступа и ожидание не было предусмотрено. Необходимое число операторов определялось с использованием классических моделей с явными потерями заблокированных заявок или с их повторением. Полученное значение было оценкой сверху искомого количества операторов. На втором этапе найденное значение числа операторов уменьшалось с одновременным увеличением числа линий доступа и постановкой заблокированных заявок на ожидание. Соответствие найденного числа операторов и линий доступа используемому критерию проверялось расчетами с использованием построенных алгоритмов. Если критерий не выполнялся, то расчеты продолжались.

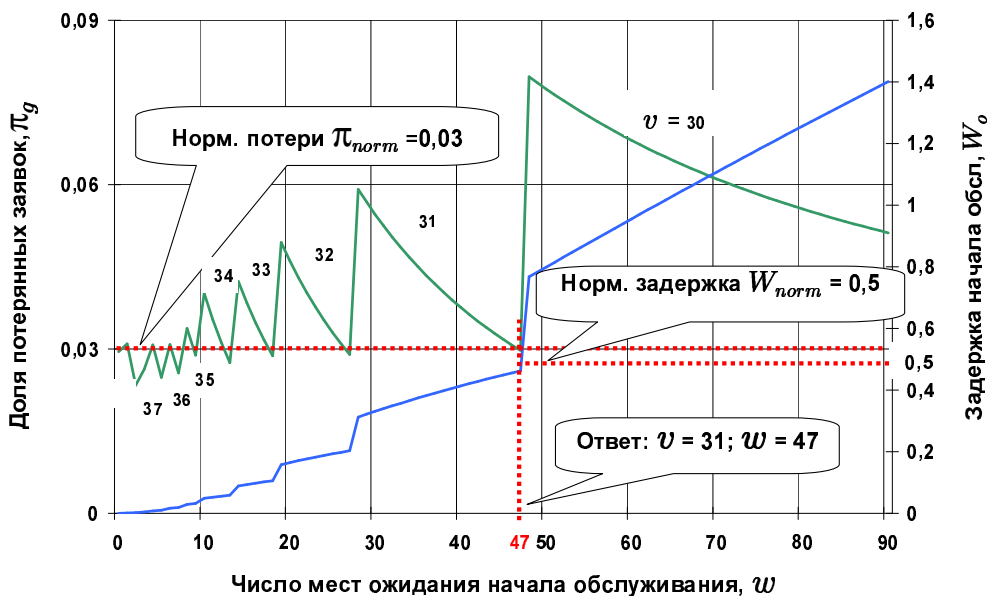


Рисунок 3. Результаты уточнения числа операторов и линий доступа

На рисунке 3 показаны результаты уточнения числа операторов  $v$  и линий доступа  $n$ , где  $n = v + w$  в соответствии с изложенной выше процедурой. Входные параметры:  $\lambda = 30$ ;  $\nu = 5$ ;  $\alpha_2 = 1$ ;  $H = 0,8$ ;  $\frac{1}{\sigma} = 100$ . Норматив-

ные значения характеристик:  $\pi_{norm} = 0,03$  и  $W_{norm} = 0,5$ . Для упрощения расчетов в модели не учитывалось наличие консультантов и устройств IVR. Единица времени — среднее время обслуживания заявки оператором. Средняя задержка обслуживания  $W_o$  при фиксированных числе операторов и линий доступа находилась из формулы Литтла как отношение среднего числа заявок, находящихся на ожидании начала обслуживания у оператора, к интенсивности потока заявок, попадающих на это ожидание. Для приведенных данных:  $n = 78$  ( $w = 47$ ),  $v = 31$ , а  $\pi_g = 0,0297$ ;  $W_o = 0,4624$ .

**В заключении** сформулированы основные результаты проведенных исследований. **В Приложениях** к диссертации приведены результаты расчетов, не вошедшие в основной текст, и акты об использовании результатов диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы состоят в следующем.

1. Проведен анализ работы современных контакт-центров. Он показал эффективность использования устройств IVR, операторов и консультантов для дифференцированного обслуживания клиентов, а также необходимость учета повторных вызовов при формировании входного потока заявок. Исследование, выполненное по материалам опубликованных работ, показывает отсутствие методов оценки ресурса контакт-центров, учитывающих совокупное влияние перечисленных факторов. Подобные методы необходимы для научно обоснованного решения инженерных задач, возникающих при проектировании и эксплуатации справочных служб.
2. Построена и исследована новая обобщенная математическая модель контакт-центра, в которой для обслуживания клиентов используются устройства IVR, операторы и консультанты, а также учитывается возможность повторения заявки из-за отказов на различных этапах обслуживания, наличие ограничения на время пребывания на ожидании и возможность поступления заявки на обслуживание по каналам сети Интернет.
3. С использованием модели даны определения основным показателям качества обслуживания заявок, поступающих в контакт-центр. Формальные выражения для характеристик получены через значения входных параметров и величины стационарных вероятностей модели. Среди них: интенсивности и потери заявок, дифференцированные по этапам обслуживания; средние значения функциональных компонент состояния (среднее число абонентов, повторяющих заявку, среднее число за-

- нятых операторов и т.д.); вероятности и средние длительности пребывания заявок на ожидании начала обслуживания и т.д.
4. Получены соотношения между характеристиками работы контакт-центра, которые имеют характер законов сохранения интенсивностей поступающих и обслуженных системой потоков заявок. Найденные соотношения можно использовать для косвенной оценки тех входных параметров и характеристик модели, прямое измерение которых стандартной аппаратурой затруднено из-за сложностей в разделении первичных и повторных вызовов, а также для разработки приближенных методов оценки показателей качества обслуживания заявок.
  5. Получено алгебраическое представление системы уравнений равновесия исследуемой модели контакт-центра в виде, удобном для последующей реализации метода Гаусса-Зейделя. Найденное выражение дает возможность записать все уравнения системы в виде одного соотношения с коэффициентами, вычисляемыми с помощью рекуррентных формул, зависящих от компонент состояния модели. Это значительно упрощает реализацию метода и дает возможность увеличить число состояний в исследуемой модели до нескольких миллионов.
  6. Разработаны две процедуры приближенного расчета построенной модели контакт-центра, основанные на применении асимптотических значений ее характеристик, полученных при стремлении к нулю интенсивности повторения запросов, и на реализации техники декомпозиции. В первом случае для вычисления оценок используются значения характеристик аналогичной модели контакт-центра, но без учета возможности повторения вызова и с увеличенной интенсивностью поступления первичных вызовов. Во втором — исследуемая модель разбивается на отдельные части, которые затем рассчитываются независимо друг от друга. Влияние отдельных функциональных блоков друг на друга учитывается введением поправочных коэффициентов, которые получают из результатов измерений или специальных соотношений. В исследуемой модели последовательность блоков выбирается из последовательности этапов обслуживания заявки (IVR, операторы, консультанты).
  7. Сформулирована двухэтапная процедура планирования числа операторов и линий доступа. Задача первого этапа — определение предварительного значения числа операторов при фиксированном количестве линий доступа. На втором этапе эта величина уточняется изменением числа линий доступа. Показано, что подобным образом можно уменьшить число требуемых операторов на величину до 10%.



8. Показано, что выигрыш в числе операторов от внедрения IVR пропорционален доле заявок, получивших обслуживание на IVR и покинувших систему. Он может достигать нескольких десятков процентов при величине  $1 - q$  в несколько десятков процентов.
9. Результаты диссертации использованы в ПАО МГТС в виде методики оценки необходимого числа операторов справочно-информационной службы, а также использованы в учебном процессе на кафедре «Сети связи и системы коммутации» МГУСИ. Реализация результатов диссертации подтверждается соответствующими актами.

**Основные публикации по теме диссертации.  
Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при  
Минобрнауки России**

1. *Пшеничников А.П., Степанов М.С.* Асимптотические модели оценки показателей качества обслуживания вызовов call-центрами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2010. — Том 4. — №7. — С.93–96.
2. *Пшеничников А.П., Степанов М.С.* Обобщенная модель call-центра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2011. — Том 5. — №7. — С.125–128.
3. *Степанов М.С.* Оценка характеристик работы контакт-центра с использованием итерационных методов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — Том 6. — №7. — С.188–192.
4. *Степанов М.С.* Обобщенная модель контакт-центра и частные случаи ее использования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2013. — Том 7. — №7. — С.126–129.
5. *Степанов М.С.* Планирование числа операторов и линий доступа в современных контакт-центрах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2014. — Том 8. — №8. — С.89–92.
6. *Степанов С.Н., Степанов М.С.* Построение и анализ обобщенной модели контакт-центра // Автоматика и телемеханика. — 2014. — №11. — С.55–69.
7. *Степанов М.С.* Определение и свойства входных параметров обобщенной модели контакт-центра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — Том 9. — №7. — С.25–30.

**Другие статьи и материалы конференций**

1. *Пшеничников А. П., Степанов М.С.* Асимптотические свойства модели с учетом повторения заблокированных заявок // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МГУСИ. — 2009. — С.44–46.

2. *Пшеничников А. П., Степанов М.С.* Особенности функционирования контакт-центров // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2012. — С.32–33.
3. *Степанов М.С.* Использование асимптотических свойств модели с повторениями заявок для оценки показателей качества их обслуживания // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2009. — С.46–47.
4. *Степанов М.С.* Обобщенная модель call-центра с учетом IVR // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2010. — С.46–47.
5. *Степанов М.С.* Особенности построения перспективных контакт-центров // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2011. — С.27.
6. *Степанов М.С.* Оценка влияния IVR на численность операторов в современных контакт-центрах // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2012. — С.50–51.
7. *Степанов М.С.* Использование модели контакт-центра для анализа процесса поступления и обслуживания заявок // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». — М.: РУДН. — 2012. — С.55–57.
8. *Степанов М.С.* Использование законов сохранения для оценки интенсивности поступления первичных заявок в современных контакт-центрах // Труды международной конференции, посвященной дню Радио (выпуск LXVIII). — М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова. — 2013. — С.92–94.
9. *Степанов М.С.* Оценка погрешности планирования числа операторов контакт-центров, внесенная наличием повторных заявок // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2013. — С.42.
10. *Степанов М.С.* Принципы организации работы контакт-центра нового поколения // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». — М.: МТУСИ. — 2014. — С.52.
11. *Степанов М.С.* Косвенная оценка параметров и характеристик обобщенной модели контакт-центра // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». — М.: РУДН. — 2015. — С.56–58.