

На правах рукописи

ВАНЯШИН Сергей Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ
МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ЦЕНТРА ОБСЛУЖИВАНИЯ
ВЫЗОВОВ**

Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики» (ГОУВПО ПГАТИ).

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Росляков А.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Тарасов В.Н.

кандидат технических наук,
доцент Гавлиевский С.Л.

Ведущая организация: ГОУВПО «Самарский
государственный университет»

Защита состоится 8 декабря 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д219.003.02 при Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО ПГАТИ.

Автореферат разослан 3 ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д219.003.02
доктор технических наук, доцент

Мишин Д.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из перспективных направлений развития информационных услуг является организация центров обслуживания вызовов (ЦОВ), ориентированных на оказание услуг широкому кругу пользователей. ЦОВ интенсивно внедряются за рубежом и в Российской Федерации.

Происходящая в последнее время конвергенция телефонной и компьютерной индустрии, появление сетей следующего поколения NGN обусловили появление мультисервисных ЦОВ (МЦОВ), обладающих несравненно большим набором услуг и возможностями. МЦОВ обеспечивают обработку вызовов, передаваемых как по телефонным, так и по пакетным сетям (Интернету, сетям IP-телефонии). Потребность в расширении спектра предоставляемых информационных услуг постоянно растет почти во всех сферах применения МЦОВ. Прежде всего, это касается таких услуг, как обслуживание по электронной почте, совместный просмотр веб-страниц компании и текстовый диалог (чат).

В настоящее время имеется достаточно большое количество публикаций по тематике ЦОВ, особенно за рубежом. Здесь следует отметить работы таких авторов, как А. Mandelbaum, W. Whitt, G. Koole, M. Reiman и др. В России в последнее время также появились первые работы в данном направлении, прежде всего Б.С. Гольдштейна, А.В. Рослякова и их учеников. Защищены кандидатские диссертации (А.А. Зарубиным и М.Н. Беловым), посвященные исследованиям отдельных математических моделей ЦОВ. Однако в большинстве работ анализируются телефонные ЦОВ и используются подходы на основе «классической» теории массового обслуживания. Математические модели современных МЦОВ должны учитывать такие факторы, как наличие нескольких классов вызовов, различные дисциплины обслуживания заявок, «нетерпеливость» пользователей, повторные вызовы, нестационарность характеристик и др., что существенно усложняет их анализ.

В связи с этим, актуальной является задача анализа вероятностно-временных характеристик (ВВХ) МЦОВ, влияющих на качество обслуживания вызовов с учетом явлений, свойственных современным центрам.

Цель работы и задачи исследования. Цель диссертации состоит в повышении уровня обслуживания пользователей и снижении эксплуатационных расходов МЦОВ путем разработки моделей МЦОВ, учитывающих «нетерпеливость» пользователей, наличие приоритетов между различными классами вызовов и нестационарность характеристик.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

– разработка формализованного математического описания исследуемого объекта – МЦОВ;

– разработка аналитической модели процесса функционирования МЦОВ с возможностью совместного обслуживания различных классов вызовов с учетом динамических приоритетов между ними, «нетерпеливости» пользователей и нестационарности характеристик;

– разработка метода расчета ВВХ МЦОВ с возможностью определения оптимального количества операторов;

– разработка рекомендаций по расчету параметров функционирования МЦОВ;

– разработка имитационной модели функционирования МЦОВ для получения зависимостей между основными параметрами МЦОВ и качеством обслуживания вызовов различных классов.

Методы исследования. Исследования базировались на методах теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории аппроксимации, вычислительной математики и имитационного моделирования.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– разработана математическая модель функционирования МЦОВ с тремя классами вызовов, позволяющая получать аналитическую оценку ВВХ МЦОВ с учетом динамических приоритетов между вызовами, отказов от обслуживания как следствие «нетерпеливости» пользователей и нестационарности параметров МЦОВ;

– разработан аналитический метод расчета параметров МЦОВ с использованием непрерывной и диффузионной аппроксимаций;

– разработана методика определения оптимального количества операторов в модели МЦОВ с тремя классами вызовов, где учитываются динамические приоритеты, отказы от обслуживания из-за «нетерпеливости» пользователей и нестационарность характеристик;

– разработан алгоритм управления переходами низкоприоритетных вызовов в высокоприоритетную очередь;

– разработана имитационная модель МЦОВ, позволяющая проводить оценку основных ВВХ МЦОВ.

Личный вклад. Теоретические и практические исследования, аналитические расчеты и проведенное имитационное моделирование на ЭВМ, а также выводы и рекомендации получены автором лично.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Полученные методы, формулы, алгоритмы и модели позволяют произвести оценку ВВХ МЦОВ с учетом обслуживания нескольких классов вызовов, улучшить качественные показатели функционирования МЦОВ, сократить штат операторов центра и уменьшить задержки при обслуживании высокоприоритетных телефонных вызовов. Это позволяет эффективно решить проблему проектиро-

вания МЦОВ, управления его работой в процессе эксплуатации и добиться положительного экономического эффекта.

Результаты могут быть использованы научно-исследовательскими, проектными и эксплуатационными организациями при разработке, проектировании, внедрении новых и усовершенствовании существующих МЦОВ.

Основные теоретические и практические результаты, полученные в работе, использованы в МР «Поволжье Юго-Восток» ОАО «Мобильные ТелеСистемы», Группе компаний «СТАРТ» (г. Москва) и внедрены в учебный процесс в ГОУВПО ПГАТИ, что подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Основное содержание работы докладывалось и обсуждалось на 5-й Международной конференции молодых ученых и студентов (Самара, 2004), XII и XIII российских научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Самара, ПГАТИ, 2005-2006), 1-м Международном форуме молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки» (Самара, 2005), Шестой международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Уфа, 2005).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе одна монография (336 с.), 1 статья в журнале из перечня, рекомендованного ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ, 2 статьи в научных изданиях и 10 тезисов докладов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- функциональная модель МЦОВ, отражающая принципы поступления и обслуживания вызовов различных классов;
- математическая модель МЦОВ, учитывающая динамические приоритеты для низкоприоритетных различных классов вызовов, «нетерпеливость» высокоприоритетных вызовов, нестационарность характеристик;
- алгоритм управления переходами низкоприоритетных вызовов в высокоприоритетную очередь
- методика определения оптимального количества операторов в модели МЦОВ с тремя классами вызовов;
- анализ ВВХ рассматриваемого МЦОВ средствами имитационного моделирования на ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 157 страниц машинописного текста, 59 рисунков, 4 таблицы. В списке литературы 165 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы диссертации, её актуальность, новизна, сформулированы цель и задачи исследования, перечислены основные

научные результаты диссертации, определены практическая ценность и область применения результатов, а также структура и объем диссертации, коротко изложено её содержание.

В первой главе производится анализ объекта исследования. Рассмотрены основные принципы функционирования и архитектура МЦОВ. Выделены основные преимущества использования современных МЦОВ по сравнению с ЦОВ, обслуживающих один класс вызовов.

Показано, что существующие в настоящее время математические модели и методы расчета характеристик качества обслуживания вызовов развиты для центров, оперирующих только телефонными вызовами. С другой стороны, анализ «классических» математических моделей, описывающих процесс функционирования ЦОВ, показал, что они уже не способны адекватно отражать принцип функционирования современных МЦОВ. Наиболее существенные недостатки таких моделей вытекают из предположений об однотипности поступающих вызовов, стационарности характеристик и бесконечной терпеливости пользователей. В случае расхождения условий рассматриваемой модели с реальными условиями функционирования МЦОВ расчет характеристик на основе существующих моделей может оказаться весьма неточным.

Главная, в контексте данной диссертационной работы, особенность МЦОВ, по сравнению с предшествующими центрами – это способность обслуживать вызовы нескольких классов, поступающих из разных телекоммуникационных сетей. Статистика показывает, что наиболее популярными запросами на действующих МЦОВ являются (по убыванию): телефонные вызовы, электронная почта, web-запросы и текстовый чат. Существует множество других способов обращения в МЦОВ, однако в диссертации все возможные заявки были классифицированы на три класса относительно масштаба времени, требуемого на их обслуживание.

Разнообразие классов обрабатываемых вызовов приводит к существенным различиям рассматриваемых центров по сравнению с системами прошлого поколения. Например, характерным свойством МЦОВ является обслуживание потоков вызовов, допускающих отложенную обработку или большую, по сравнению с остальными вызовами, задержку при обслуживании, что позволяет шире использовать механизм приоритетов. Это позволяет дифференцировать качество обслуживания для разных классов вызовов. Причем, чтобы избежать длительного ожидания низкоприоритетных (НП) вызовов классов 2 и 3 и, следовательно, потери эффективности функционирования МЦОВ, целесообразно использовать так называемые динамические приоритеты. В этом случае при достижении определенного времени ожидания НП вызовов, они переводятся в очередь для высокоприоритетных (ВП) вызовов. Однако, данная возможность, в совокупности с «нетерпеливостью» пользователей и нестационарностью характеристик практически нигде не рассматривалась в отечественных или зарубежных научных исследованиях.

Для решения задач диссертационной работы были использованы аппроксимационные аналитические модели, первоначально полученные А. Mandelbaum и др. Данные модели были модифицированы автором для учета нескольких классов вызовов и всех явлений, связанных с обслуживанием разноранжированных вызовов. Кроме того, данные аппроксимации были недостаточны исследованы в плане их практического применения.

Таким образом, в результате анализа специфики функционирования современных МЦОВ и существующих математических моделей сформулирована задача по исследованию ВВХ качества обслуживания вызовов.

Во второй главе разработана аналитическая модель МЦОВ, позволяющая учитывать три класса вызовов, уход ВП вызовов из-за «нетерпеливости» пользователей, динамические приоритеты для НП вызовов и нестационарность параметров МЦОВ.

Данная модель МЦОВ является достаточно сложной, так что выполнить её анализ при помощи простых марковских моделей не представляется возможным даже в случае предположения о стационарности параметров МЦОВ. Поэтому для получения таких важных характеристик, как количество всех вызовов в МЦОВ в момент времени t и распределение времени ожидания разных классов вызовов, были выбраны методы непрерывной и диффузионной аппроксимаций, широко применяющиеся в различных областях науки. В ряде работ показано, что непрерывная аппроксимация достоверно предсказывает рост очереди в нестационарных моделях при интенсивном увеличении трафика, что особенно актуально для современных МЦОВ, а диффузионная аппроксимация позволяет достоверно оценивать характеристики при высокой загрузке МЦОВ, когда коэффициент загрузки $\rho(t) \rightarrow 1$. Расчет характеристик качества обслуживания в рассматриваемой модели другими способами невозможен, либо становится непригодным из-за больших вычислительных затрат.

Рассматриваемая модель представлена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: $\lambda_j(t)$, μ_j – интенсивности поступления и обслуживания вызовов класса j соответственно, $j = 1, 2, 3$, n – количество операторов, θ – интенсивность отказов от обслуживания из-за «нетерпеливости», β_2 и β_3 – интенсивности перехода НП вызовов классов 2 и 3 в ВП очередь соответственно.

Вызовы в МЦОВ внутри данного класса обслуживаются в соответствии с дисциплиной FCFS (первым пришел – первым обслуживаешься). Общая дисциплина обслуживания в МЦОВ является приоритетной с прерыванием обслуживания НП вызовов и продолжением их обслуживания в прерванном месте. Практика показывает, что данная дисциплина позволяет максимально загрузить операторов при сохранении качества обслуживания ВП вызовов. В модели рассматриваются однородные операторы, обладающие идентичными навыками, и бесконечная очередь, поскольку предполагается, что количество линий в МЦОВ будет достаточным для предотвращения блокировки вызовов.

Исследование такой системы проводилось с учетом того, что процессы поступления ВП и НП вызовов являются нестационарными и пуассоновскими, а промежутки времени обслуживания независимо и экспоненциально распределены.

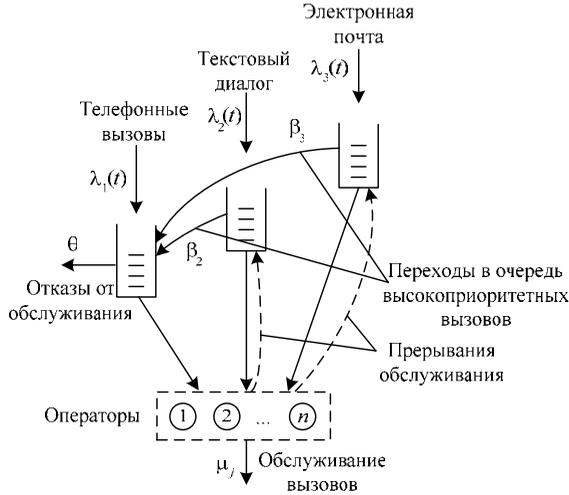


Рис. 1. Модель МЦОВ с тремя классами вызовов

Пусть $\mathbf{Q}^n = \{Q_1^n(t), Q_2^n(t), Q_3^n(t)\}$ будет масштабированным процессом изменения среднего количества вызовов всех классов в момент времени t в МЦОВ, где η – коэффициент масштабирования. При этом масштабируются интенсивность поступления вызовов и число операторов, которые становятся равными $\eta\lambda_j(t)$ и ηn соответственно. Предварительные расчеты показали, что приемлемым коэффициентом масштабирования является $\eta = 20$ – большой коэффициент не компенсирует дополнительное время расчета достигаемой точностью. Данный асимптотический режим высокой загруженности ЦОВ впервые был исследован W. Whitt. Процесс изменения количества вызовов в системе можно определить из следующей системы функциональных уравнений, полученной в диссертационной работе:

$$\left\{ \begin{array}{l}
Q_1^n(t) = Q_1^n(0) + \Pi_{11} \left(\int_0^t \eta \lambda_1(x) dx \right) + \Pi_{12} \left(\int_0^t \beta_2(Q_2^n(x) - (\eta n - Q_1^n(x))^+) dx \right) + \\
+ \Pi_{13} \left(\int_0^t \beta_3(Q_3^n(x) - (\eta n - Q_1^n(x) - Q_2^n(x))^+) dx \right) - \\
- \Gamma_1 \left(\int_0^t \mu_1(x) \min(Q_1^n(x), \eta n) dx \right) - \Omega \left(\int_0^t \theta(Q_1^n(x) - \eta n)^+ dx \right) \\
Q_2^n(t) = Q_2^n(0) + \Pi_{22} \left(\int_0^t \eta \lambda_2(x) dx \right) - \\
- \Gamma_2 \left(\int_0^t \mu_2(x) \min(Q_2^n(x), (\eta n - Q_1^n(x))^+) dx \right) - \\
- \Pi_{12} \left(\int_0^t \beta_2(Q_2^n(x) - (\eta n - Q_1^n(x))^+) dx \right) \\
Q_3^n(t) = Q_3^n(0) + \Pi_{33} \left(\int_0^t \eta \lambda_3(x) dx \right) - \\
- \Gamma_3 \left(\int_0^t \mu_3(x) \min(Q_3^n(x), (\eta n - Q_1^n(x) - Q_2^n(x))^+) dx \right) - \\
- \Pi_{13} \left(\int_0^t \beta_3(Q_3^n(x) - (\eta n - Q_1^n(x) - Q_2^n(x))^+) dx \right),
\end{array} \right.$$

где $\Pi_{ij} \equiv \{\Pi_{ij}(t) | t \geq 0, i, j = \overline{1,3}\}$ – процесс поступления вызовов класса j в очередь i , $\Gamma_j \equiv \{\Gamma_j(t) | t \geq 0, j = \overline{1,3}\}$ – процесс обслуживания вызовов класса j , $\Omega \equiv \{\Omega(t) | t \geq 0\}$ – процесс ухода ВП вызовов из очереди из-за «нетерпеливости» пользователей, $\mu_j(t)$ – интенсивность обслуживания вызовов класса j , $j = \overline{1,3}$.

Рассматриваемый асимптотический режим позволяет применить усиленный закон больших чисел (УЗБЧ), согласно которому существует сходимость

$$\lim_{\eta \rightarrow \infty} \frac{\mathbf{Q}^\eta}{\eta} = \mathbf{Q}^{(0)} \text{ почти наверное,}$$

которая равномерна на компактных множествах t . При этом, процесс $\mathbf{Q}^{(0)} = \{Q_1^{(0)}(t), Q_2^{(0)}(t), Q_3^{(0)}(t) | t \geq 0\}$ является непрерывной аппроксимацией для \mathbf{Q}^η и может быть найден из системы уравнений, полученной в диссертации. Диффузионная аппроксимация может быть получена путем применения центральной предельной теоремы (ЦПТ) из выражения:

$$\lim_{\eta \rightarrow \infty} \sqrt{\eta} \left(\frac{\mathbf{Q}^\eta}{\eta} - \mathbf{Q}^{(0)} \right) = \mathbf{Q}^{(1)},$$

где $\mathbf{Q}^{(1)} = \{\mathbf{Q}^{(1)}(t) | t \geq 0\}$ является диффузионным процессом.

Сходимость по распределению осуществляется в банаховом пространстве. Таким образом, процесс $\mathbf{Q}^{(1)}$ является диффузионной аппроксимацией для масштабированного процесса \mathbf{Q}^n и может быть найден из системы уравнений, полученной в диссертации. Кроме того, если множество моментов времени $\{t \geq 0 | \mathbf{Q}^{(0)}(t) = n\}$ имеет нулевую меру Лебега для рассматриваемой модели МЦОВ, тогда $\{\mathbf{Q}^{(1)}(t) | t \geq 0\}$ является Гауссовским процессом. При выполнении этого условия из исходной системы функциональных уравнений определены векторы математических ожиданий $E[\mathbf{Q}^{(1)}]$, дисперсии $D[\mathbf{Q}^{(1)}]$ и ковариации $Cov[\mathbf{Q}^{(1)}]$. Если указанное условие не выполняется, то $E[\mathbf{Q}^{(1)}]$, $D[\mathbf{Q}^{(1)}]$ и $Cov[\mathbf{Q}^{(1)}]$ принимают более сложную форму, поскольку необходимо вводить масштабируемые производные Липшица для дифференцирования функций в моменты времени $\{t \geq 0 | \mathbf{Q}^{(0)}(t) = n\}$. При аппроксимации это может быть актуально в случае, если система сравнительно долго остается в переходном, высокозагруженном режиме, когда $\rho(t) \rightarrow 1$.

Была выполнена проверка полученной аппроксимационной модели. При этом во внимание брался тот факт, что локальный максимум (локальный минимум) непрерывно дифференцируемой функции должен совпадать с нулевым значением производной данной функции в этот момент времени. Данная проверка показала правильность составленной аппроксимации.

В третьей главе получены выражения для расчета наиболее важной характеристики качества функционирования МЦОВ – времени ожидания разных классов вызовов.

Для расчета времени ожидания вызовов различных классов использовались предельные выражения, полученные в главе 2 диссертации при определении количества вызовов каждого класса в МЦОВ. Время ожидания рассчитывается в фиксированный момент времени $\tau \geq 0$. При этом требуется дополнительное предположение о том, что после времени τ нет новых поступлений вызовов. В связи с этим вводится модифицированная модель, что никак не отражается на конечных результатах. Таким образом, для $t \geq \tau$ рассматривается модифицированный процесс $\hat{\mathbf{Q}}^{(0)}(t) = \{\hat{Q}_1^{(0)}(t), \hat{Q}_2^{(0)}(t), \hat{Q}_3^{(0)}(t)\}$.

Время ожидания вызовов $W_j^{(0)}(\tau)$, $j = 1, 2, 3$, определяется по модели с непрерывной аппроксимацией при использовании УЗБЧ из выражения:

$$W_j^{(0)}(t) = S_j^{(0)}(t) - t,$$

где $S_1^{(0)}(\tau) = \min\{t \geq \tau | \hat{Q}_1^{(0)}(t) < n\}$, $S_2^{(0)}(\tau) = \min\{t \geq \tau | \hat{Q}_2^{(0)}(t) < n - \hat{Q}_1^{(0)}(t)\}$, $S_3^{(0)}(\tau) = \min\{t \geq \tau | \hat{Q}_3^{(0)}(t) < n - \hat{Q}_1^{(0)}(t) - \hat{Q}_2^{(0)}(t)\}$ – процессы, характеризующие

освобождение очереди ожидания для ВП, НП вызовов классов 2 и 3 соответственно.

Выражение для определения дисперсии времени ожидания ВП и НП вызовов классов 2 и 3 $D[W_j^{(1)}(\tau)]$, полученное по диффузионной аппроксимационной модели при использовании ЦПТ, выглядит следующим образом:

$$D[W_j^{(1)}(\tau)] = \frac{D[\hat{Q}_j^{(1)}(S_j^{(0)}(\tau))]}{(d^{(0)}(S_j^{(0)}(\tau))^2},$$

где $d^{(0)}(S_j^{(0)}(\tau)) = \frac{d}{dt} \Delta^{(0)}(S_j^{(0)}(\tau)) + n$; $\Delta(t)$ – функция, описывающая количество вызовов, покидающих МЦОВ в момент времени t .

Разработан алгоритм управления переходами НП вызовов в ВП очередь, а также методика определения оптимального количества операторов в соответствии с качеством обслуживания различных классов вызовов, которое определяется как процент вызовов, ожидающих в очереди меньше определенного времени. Алгоритм методики приведен на рис. 2.

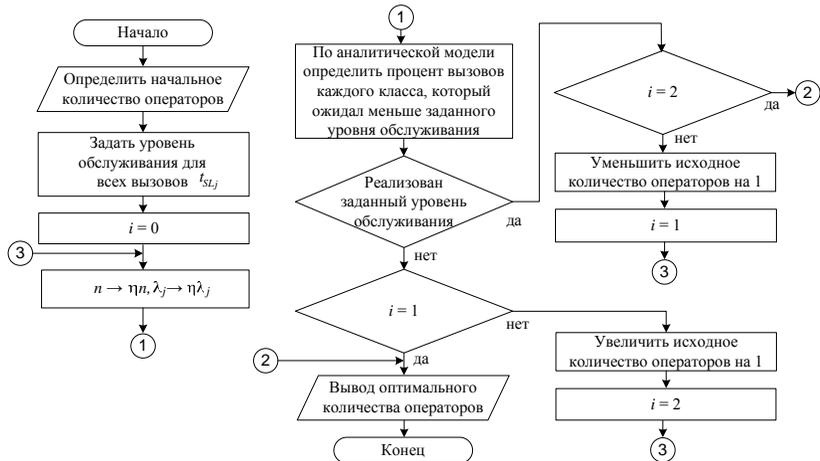


Рис. 2. Алгоритм определения оптимального количества операторов МЦОВ

Проведено исследование влияния параметров модели МЦОВ на ВВХ МЦОВ. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений производилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка с относительной погрешностью 10^{-3} . На основании результатов расчетов были предложены рекомендации по выбору параметров функционирования МЦОВ и определены зако-

номерности, учет которых позволяет повысить эффективность функционирования центра. Среди полученных результатов можно выделить следующие (в приведенных примерах соотношение $\lambda_1/\lambda_2/\lambda_3 = 80/15/5(\%)$, отношение $\beta_2/\beta_3 = 10$, $\mu_1/\theta = 1$):

– важен учет «нетерпеливости» пользователей в модели МЦОВ; например, в рассмотренной модели без учета «нетерпеливости» пользователей качество обслуживания ВП вызовов в течение одного дня падает в 15-20 раз (рис.3);

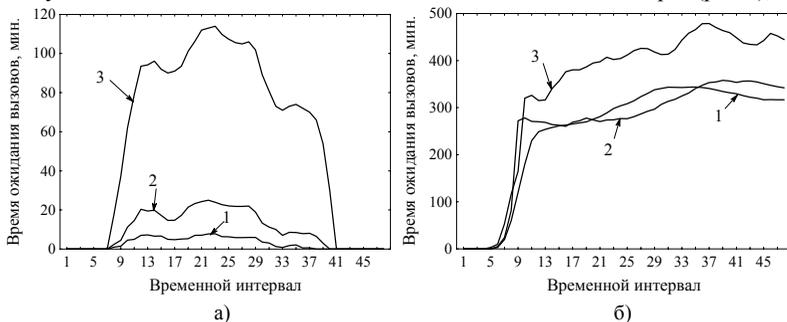


Рис. 3. Сравнение моделей с учетом «нетерпеливости» пользователей (а) и без учета «нетерпеливости» пользователей (б); 1-тлф. вызовы, 2-текст. диалог, 3-электр. почта

– снятие заявок на обслуживание пользователями из-за «нетерпеливости» как снижает общую производительность МЦОВ, так и уменьшает время ожидания других пользователей; особенно важно учитывать этот фактор в таких МЦОВ, которые функционируют в загруженном режиме;

– качество обслуживания вызовов в МЦОВ можно повысить путем введения для НП вызовов динамических приоритетов (рис.4); альтернативой модели с динамическими приоритетами может быть модель с выделенной группой операторов для НП вызовов, однако она показывает меньшую эффективность обслуживания вызовов;

– при переходе к более низкоприоритетному классу вызовов требуется меньшее увеличение количества операторов для реализации заданного качества обслуживания при увеличении поступающей и нагрузки или при необходимости повысить процент ВП и НП вызовов, ожидающих меньше определенного количества времени; например для повышения на 10%, дополнительно требуется 33% и 25% операторов для ВП и НП вызовов соответственно;

– существует прямолинейная обратная зависимость между интенсивностью обслуживания ВП вызовов и требуемым количеством операторов при сохранении качества обслуживания всех классов вызовов;

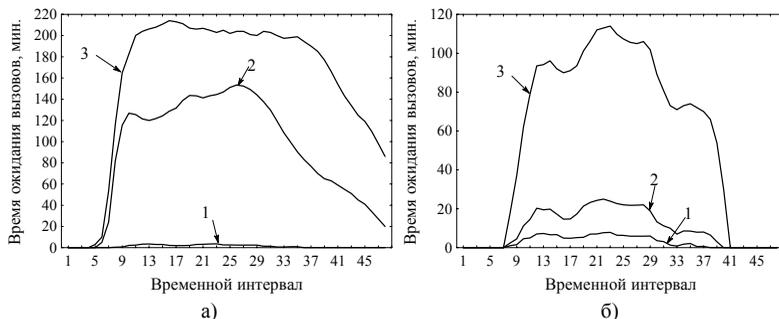


Рис. 4. Сравнение моделей без динамических приоритетов (а) и с динамическими приоритетами (б); 1-тлф. вызовы, 2-текст. диалог, 3-электр. почта

– увеличение интенсивности перехода НП вызовов в ВП очередь дает значительно больший прирост качества их обслуживания, чем аналогичное увеличение интенсивности обслуживания (рис. 5).

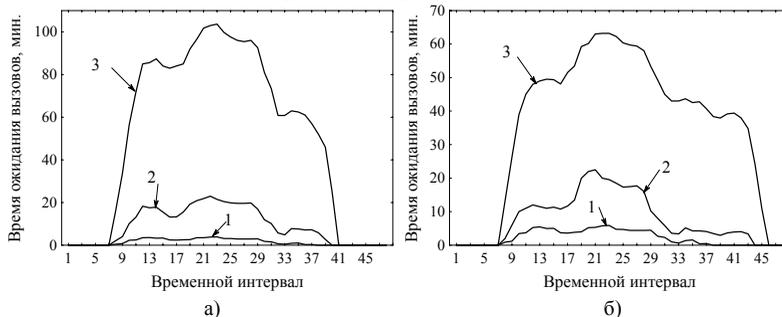


Рис. 5. Сравнение влияния на ВВХ интенсивностей обслуживания (а) и интенсивностей переходов НП вызовов в ВП очередь (б); 1-тлф. вызовы, 2-текст. диалог, 3-электр. почта

Четвертая глава содержит экспериментальное исследование ВВХ МЦОВ на основе дискретно-событийного моделирования. Дано описание основных компонентов имитационной модели. В качестве исходной статистики была взята статистика реального МЦОВ с тремя классами вызовов.

Определение параметров качества обслуживания производилось для всех трех классов вызовов за несколько этапов. В итоге собранная статистика в определенные моменты времени для большого количества испытаний усреднялась для получения окончательных значений. Подробнее приведена методика расчета времени ожидания НП вызовов классов 2 и 3.

На основании сравнения с результатами имитационного моделирования можно сделать вывод о точности аналитических моделей. При этом был определен достаточный объем серий испытаний и испытаний внутри серий, а также использованы методы доверительного интервального оценивания, которые предлагают подходящую альтернативу критериям значимости применительно к задачам инженерного расчета. Погрешность для доверительной вероятности 0.95 при расчете количества вызовов трех классов вызовов в системе и времени их ожидания в загруженном режиме функционирования не превысила 1% и 18% соответственно. Погрешность при расчете операторов составила около 5%, что допустимо для целей проектирования.

Предлагаемые в работе средства имитационного моделирования позволяют, наряду с аналитическими методами, определять ВВХ модели. Кроме того, по результатам моделирования сделан положительный вывод о возможности инженерной применимости полученных аппроксимационных выражений для расчета ВВХ качества функционирования МЦОВ на этапе их проектирования и эксплуатации.

Приложение содержит акты внедрения результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена исследованию и разработке математических моделей МЦОВ. Основные результаты диссертационной работы можно сформулировать следующим образом:

1. Разработано формализованное описание объекта исследования диссертационной работы – МЦОВ.
2. Разработана математическая модель обслуживания трех классов вызовов в МЦОВ, позволяющая получать аналитическую оценку качества обслуживания вызовов с учетом динамических приоритетов между ними, отказов от обслуживания из-за «нетерпеливости» пользователей и нестационарности характеристик.
3. Разработаны алгоритмы определения оптимального количества операторов и управления переходами НП вызовов в ВП очередь для модели МЦОВ с тремя классами вызовов и «нетерпеливостью» пользователей.
4. На основании результатов диссертационной работы разработаны рекомендации по расчету параметров функционирования МЦОВ с целью повышения эффективности обслуживания вызовов различных классов и снижения эксплуатационных затрат.
5. Разработана имитационная модель МЦОВ, позволяющая проводить оценку основных параметров качества функционирования МЦОВ.
6. Произведена оценка точности приближенного расчета характеристик качества функционирования МЦОВ. Результаты оценки показали точность, удовлетворительную для инженерных расчетов. Причем относи-

тельная погрешность достигает минимума для характеристик, касающихся наиболее важных при обслуживании высокоприоритетных телефонных вызовов.

7. Разработанные метод, аналитическая и имитационная модели, и рекомендации по обоснованию структурных параметров МЦОВ позволяют повысить качество их проектирования и эффективность использования ресурсов центра.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Росляков А.В. Математические модели центров обслуживания вызовов / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин // М.: ИРИАС, 2006. – 336 с.
2. Росляков, А.В. Сравнительный анализ математических моделей центров обслуживания вызовов / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.А. Решодько // Электросвязь. – 2004. – №9. – С. 32-34.
3. Росляков, А.В. Модель с интеграцией вызовов для контакт-центра / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин // Труды XXIV Российской школы по проблемам науки и технологий. – Т.2. – М.: Российская академия наук. – 2004. – С. 357-364.
4. Росляков, А.В. Call-центры приходят в ЖКХ / А.В. Росляков, М.Ю. Самсонов, С.В. Ваняшин // Connect! Мир связи. – 2006. – №3. – С. 56-59.
5. Росляков, А.В. Анализ математических моделей центров обслуживания вызовов / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин // Тез. докл. XI российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – ПГАТИ, Самара, 2004. – С. 62-63.
6. Ваняшин, С.В. Модель с интеграцией вызовов для контакт-центра / С.В. Ваняшин // Тез. докл. XVIII Российская школа по проблемам науки и технологий. – Екатеринбург, 2004. – С. 339-341.
7. Ваняшин, С.В. Математическое моделирование современных центров обслуживания вызовов / С.В. Ваняшин, А.В. Росляков // Тез. докл. 5-й Международной конференции молодых ученых и студентов. – Самара, 2004. – С. 24-26.
8. Ваняшин, С.В. Особенности функционирования операторского центра при обслуживании заявок из пакетных сетей / С.В. Ваняшин // Тез. докл. Пятой Международной научно-технической конференции. – Самара, 2004. – С. 58-60.
9. Ваняшин, С.В. Эффективная организация обслуживания высокодоходных клиентов компании / С.В. Ваняшин // Тез. докл. XII Российская научная конференция. – Самара, 2005. – С. 60-62.
10. Ваняшин, С.В. Повышение эффективности функционирования операторского центра / С.В. Ваняшин // Тез. докл. 7 международная конфе-

- рениция «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPА-2005). – М., 2005. – С. 143-146.
11. Ваняшин, С.В. Исследование моделей операторского центра при обслуживании разноприоритетных вызовов / С.В. Ваняшин // Тез. докл. LX научная сессия, посвященная Дню радио. – Москва, 2005. – С. 47-49.
 12. Ваняшин, С.В. Методы и подходы к имитационному моделированию контакт-центров / С.В. Ваняшин // Тез. докл. 1-го Международного форума молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки». – Самара, 2005. – С. 31-33.
 13. Ваняшин, С.В. Влияние человеческого фактора на характеристики центра обслуживания вызовов / С.В. Ваняшин // Тез. докл. Шестая международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций». – Уфа, 2005. – С. 128-129.
 14. Росляков, А.В. Анализ вероятностных характеристик ЦОВ при обслуживании разноприоритетных заявок / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин // Тез. докл. XIII юбилейной Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – ПГАТИ, Самара, 2006. – С. 45.