

На правах рукописи

**ДИБИ Валентин Н`дри**

**Модели и методы расчета  
Мультисервисных контакт-центров**

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2011

Работа выполнена в Санкт-Петербургском Государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) на кафедре систем коммутации и распределения информации.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Гольдштейн Борис Соломонович**

Научный консультант: кандидат технических наук  
**Зарубин Антон Александрович**

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки и техники РСФСР  
доктор технических наук, профессор  
**Сиверс Мстислав Аркадьевич**

кандидат технических наук, доцент  
**Юркин Юрий Викторович**

Ведущая организация **Научно - Технический Центр ПРОТЕЙ**

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета D 219.004.02 при Санкт-Петербургском Государственном Университете Телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

**Х. Харитонов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время внимание мирового телекоммуникационного сообщества сосредоточено на концепции сетей, которые обеспечивают предоставление любых услуг электросвязи на основе единой сетевой инфраструктуры, таких как сети следующего поколения (NGN). Усиление конкуренции в отрасли, а также повышение требований пользователей телекоммуникационных сетей привели к появлению качественно новых методов и средств предоставления услуг, основывающихся на конвергенции сетей связи и услуг. Одним из перспективных направлений развития информационных услуг является организация центров обслуживания вызовов (ЦОВ).

Вместе с переходом от телефонных сетей общего пользования (ТфОП) к сетям следующего поколения (NGN) можно наблюдать эволюцию традиционных центров обслуживания вызовов (ЦОВ) к мультисервисным центрам обслуживания вызовов (МЦОВ) или мультисервисным контакт-центрам (МКЦ), обладающих несравненно большим набором услуг и возможностей. Задачей МКЦ является предоставление пользователю любого удобного для него средства получения информационных услуг, будь то речевой или видео вызов, запрос по электронной почте или текстовый диалог, запрос из социальных сетей или прием заявок, допускающих отложенную обработку. Разнообразие типов обслуживаемых запросов приводит к существенным изменениям функциональной структуры рассматриваемого МКЦ по сравнению с системами прошлого поколения.

Эти принципиально новые подходы к предоставлению современных инфокоммуникационных услуг, ориентированных на сети связи следующего поколения (NGN), делают актуальными исследования моделей и методов проектирования таких центров.

**Цель работы и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является исследование моделей и методов расчета вероятностно-временных характеристик (VBX) мультисервисных контакт-центров, обеспечивающих приоритетную дисциплину обслуживания заявок и режим прямого и отложенного обслуживания.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

1. Разработка формализованного описания исследуемого объекта – мультисервисного контакт-центра со смешанным режимом обслуживания.
2. Исследование специфики процессов обслуживания запросов в МКЦ.
3. Разработка методов расчета VBX контакт-центра при обслуживании разнотипных потоков запросов по приоритетной дисциплине.
4. Исследование мультисервисного контакт-центра с отложенным обслуживанием (off-line) запросов и разработка методов оценки его основных VBX.
5. Разработка имитационной модели, позволяющей проводить оценку VBX мультисервисного контакт-центра с отложенным обслуживанием запросов.
6. Разработка обобщенной методики проектирования мультисервисного контакт-центра.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы методы теории телетрафика, включая приоритетные модели обслуживания, методы теории вероятностей и математической статистики, теории фрактальных процессов и методы имитационного моделирования. Для численного анализа используется программный математический пакет Mathcad 14. Имитационное моделирование выполняется с помощью общецелевой системы имитационного моделирования GPSS World Student Version (GPSS, General Purpose Simulation System). В основу проводимых исследований положены работы А. Mandelbaum., W. Whitt., G. Koole, М. Reiman., Villy B. Iversen и др. В России эти вопросы рассматриваются, например, в работах Липаева В., Духовного И., Гольдштейна Б., Рослякова А., Зарубина А. и некоторых других авторов.

**Научная новизна** Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– предложены модели нового объекта инфокоммуникационных сетей, мультисервисный контакт-центр, модели процессов предоставления информационных услуг с относительным приоритетом обслуживания, модели процессов предоставления информационных услуг с отложенным обслуживанием;

- разработан алгоритм обработки запросов мультисервисным контакт-центром с отложенным обслуживанием;
- разработана имитационная модель, позволяющая проводить оценку ВВХ контакт-центра с отложенным обслуживанием запросов.

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

**Практическая ценность и реализация результатов.** Полученные методы, формулы, алгоритмы, программы и модели позволяют произвести оценку ВВХ МКЦ с учетом обслуживания вызовов нескольких классов и возможностей отложенного обслуживания, что улучшает характеристики, определяющие качество предоставления информационных услуг рассматриваемыми системами. Это позволяет эффективно решить проблему проектирования МКЦ, управления его работой в процессе эксплуатации и добиться положительного экономического эффекта. Результаты работы могут быть использованы научно-исследовательскими, производственными и эксплуатационными организациями при разработке, внедрении новых и усовершенствовании существующих центров информационных услуг.

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на 62-й, 63-й и 64-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава научных сотрудников, аспирантов и студентов СПбГУТ, на XLVI юбилейной всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии. РУДН, Москва 2010.

**Публикации.** Материалы, отражающие основное содержание и результаты диссертационной работы, опубликованы в изданиях научно-технических конференций и в журналах отрасли - всего в 9 работах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа включает в себя содержание, список сокращений, список обозначений, введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Объем пояснительной записки – 125 страниц, включая приложение, 25 иллюстраций, 2 таблицы. Список использованной литературы насчитывает 81 наименование.

**Основные положения,** выносимые на защиту:

1. Функциональная модель МКЦ, отражающая принципы поступления и обслуживания вызовов разных классов;
2. Математические модели МКЦ, учитывающие, с одной стороны, обслуживание запросов с относительным приоритетом и, с другой стороны, отложенное обслуживание.
3. Анализ ВВХ рассматриваемого off-line МКЦ средствами имитационного моделирования на ЭВМ.
4. Построение SDL-диаграмм, отражающих методику проектирования МКЦ.

## СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

**Во введении** обоснован выбор темы диссертации, её актуальность, новизна, сформулированы цель и задачи исследования, перечисляются основные научные результаты диссертации, дается её краткое содержание. Приводятся основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** производится обзор технологий и математических моделей систем предоставления услуг связи. В главе рассмотрена эволюция систем предоставления информационных услуг до современных МКЦ. На этом основании представлен объект исследования: мультисервисный контакт-центр, представленный на рис. 1.

Показано, что существующие в настоящее время математические модели и методы расчета характеристик качества обслуживания вызовов предназначены для центров, оперирующих преимущественно телефонными вызовами. С другой стороны, анализ «классических» математических моделей, описывающих процесс функционирования ЦОВ, показал, что они уже не способны адекватно отражать принцип функционирования современных МКЦ. Контакт-центр нового поколения должен обеспечивать: прием традиционных телефонных вызовов, поступающих

из сетей подвижной связи (СПС), телефонных вызовов, поступающих из сети Интернет с использованием технологий VoIP (Skype, yahoo messenger, video); прием заявок по факсу, электронной почте; прием запросов по технологиям мгновенного обмена сообщениями; прием вызовов, допускающих отложенную обработку и а также прием запросов из социальных сетей – Вконтакте, Facebook, Twitter. Следовательно, имеются модели МКЦ с несколькими классами вызовов.

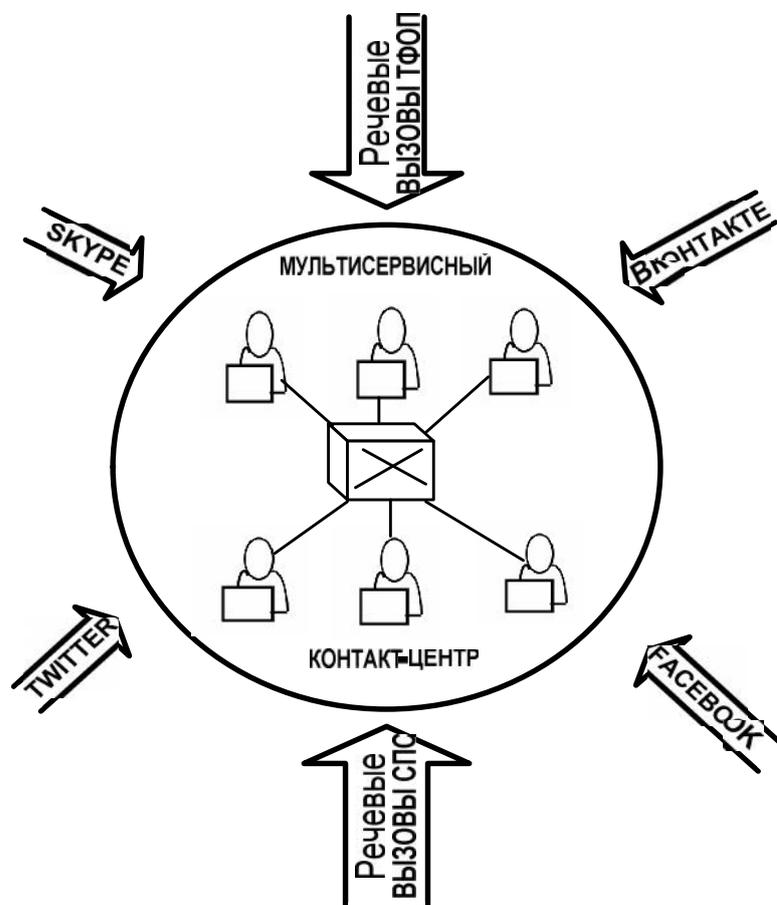


Рис. 1. Объект исследования

Разнообразие классов обрабатываемых вызовов приводит к существенным различиям между рассматриваемыми центрами и системами прошлого поколения. Например, характерным свойством МКЦ 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 разных классов вызовов. Вводится математический аппарат для моделирования систем с приоритетным обслуживанием.

Типичный алгоритм работы контакт-центра предполагает непосредственное обслуживание запроса при поступлении речевого вызова, когда пользователь информационными услугами задает вопросы оператору центра и получает ответы. В этом случае на скорость работы оператора и типы информационных запросов пользователя, накладывается целый ряд ограничений. По мере развития поисковых систем общего пользования, доступных в сети Интернет, растет и уровень требований, которые пользователи предъявляют к информационным услугам контакт-центров.

На практике современный контакт-центр может обслуживать запросы на самые разнообразные услуги – однотипные справочные запросы, запросы к экстренным службам, запросы обработки исходящих телемаркетинговых вызовов и прочее. Вместе с тем, в последнее время появляются услуги контакт-центров, предусматривающие возможность обработки запросов в свободной форме. К таким запросам относятся любые обращения пользователя в контакт-центр,

начиная от вопроса о курсах валют на текущий момент до имени президента какого-либо удаленного и небольшого государства. Отличительная черта предоставления подобной информационной услуги состоит в отложенном обслуживании (off-line обслуживания) запроса пользователя, а именно: после нахождения ответа на запрос оператор контакт-центра связывается с пользователем наиболее удобным для него способом, – посредством речевого вызова, через службу SMS или электронную почту. На рис. 2 представлена функциональная модель объекта исследования – МКЦ.

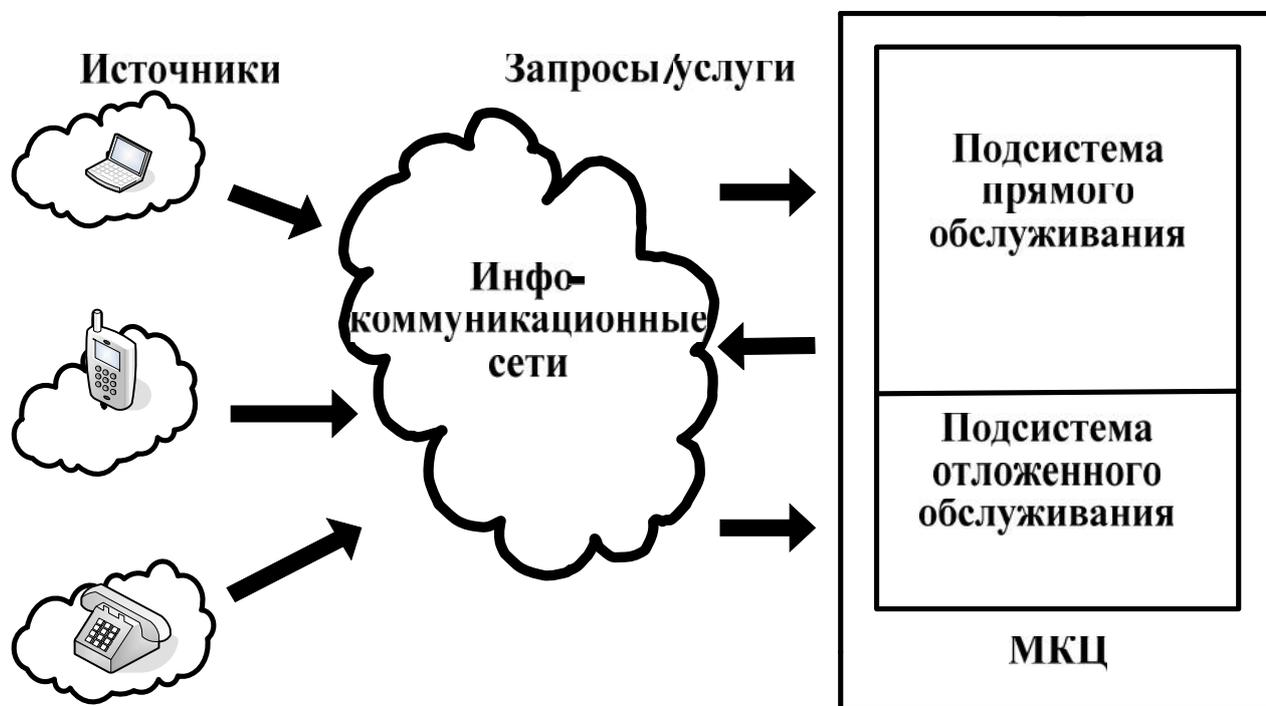


Рис. 2. Функциональная модель объекта исследования

Проведенный обзор известных точных аналитических результатов для систем M/G/n и аппроксимационных приближений позволяет использовать их в главах 2 и 3 при определении времени ожидания запросов в системе.

В соответствии с проведенными исследованиями формулируются цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** разработана функциональная модель операторской подсистемы контакт-центра, отражающая процессы поступления и обслуживания разнотипных запросов информационных услуг, и состоящая из следующих компонентов: множество накопителей заявок (очередей) и терминалы операторов – множество обслуживающих приборов.

Операторская подсистема в общем случае осуществляет обслуживание запросов информационных услуг, приходящих:

- в речевом виде от ТфОП, СПС, сетей IP-телефонии;
- в текстовом виде от социальных сетей, систем интерактивного (диалогового) обмена сообщениями сети Интернет и СПС;
- в текстовом виде от систем обмена сообщениями, позволяющих отложенную обработку ТфОП, СПС, сетей IP-телефонии и Интернет (факсимильные сообщения и электронная почта);
- в речевом и текстовом виде с отложенной обработкой.

Следовательно, интерфейсы операторской подсистемы МКЦ могут быть разделены на следующие группы: речевую и текстовую диалоговую.

Что касается процессов поступления и обслуживания потоков вызовов, то на основании ряда экспериментальных исследований в диссертационной работе установлено следующее.

Потоки речевых вызовов, приходящие на операторскую подсистему от большого числа источников, имеют показательное распределение интервалов времени между поступающими запросами и аналогичное распределение времени обслуживания. Данный факт имеет экспериментальные подтверждения во множестве классических работ по обслуживанию телефонной нагрузки.

Согласно экспериментальным исследованиям, закон, по которому происходит поступление запросов установления сессий обмена информацией на прикладном уровне сети Интернет, соответствует показательному распределению интервалов времени между запросами.

Зависимости для процессов обслуживания запросов, поступающих через текстовые интерфейсы операторской подсистемы контакт-центра, могут заметно отличаться от привычных зависимостей для расчетов телефонной нагрузки. Экспериментальные исследования показывают, что они могут являться медленно-затухающими распределениями, иначе называемыми распределениями с «тяжелым хвостом» (heavy-tailed). Вместе с тем, в реальных контакт-центрах закон обслуживания заявок может быть лишен характера распределений heavy-tailed благодаря административным ограничениям.

В качестве одного из основных положений при исследовании модели контакт-центра, используется допущение, что все поступающие заявки имеют длительности, распределенные по показательному закону, в том числе и длительности текстовых запросов (e-mail, SMS, MMS, chat). Указанные административные ограничения являются принятой практикой и могут распространяться на все типы запросов: речевые, текстовые, мультимедийные.

При функционировании подсистем контакт-центра ставится определенный набор целей, которые должны быть достигнуты. Одной из них является минимизация времени ожидания предоставления информационной услуги.

Классификация потоков запросов строится по типам поступающей информации и допустимому времени на её обработку. Нагрузку на операторскую подсистему и контакт-центр в целом создают запросы от абонентов телефонных сетей, СПС, пользователей социальных сетей, сети VoIP, а также электронная почта и запросы систем диалогового обмена текстовыми сообщениями. При организации МКЦ, обрабатывающего эти запросы, улучшить ряд ВВХ системы позволяет механизм приоритетов.

Подсистема представлена совокупностью отдельных модулей, каждый из которых в один момент времени может обслуживать лишь один запрос. В зависимости от типа поступившего запроса и с учетом приоритетности обслуживания, он попадает в ту или иную очередь накопителя, а затем поступает на обслуживание. Функциональная модель операторской подсистемы МКЦ с приоритетным обслуживанием запросов представлена на рис. 3.

Накопитель заявок реализует приоритетную дисциплину обслуживания, в зависимости от неё в состав накопителя входит определенное число очередей заявок различных приоритетов  $P$ . В общем случае каждому типу запросов соответствует свой уровень приоритета и выполняется условие  $1 \leq i \leq p$  где  $i = (1 \dots P)$  – индекс типа запроса, причем  $i = 1$  – это самый высокий уровень приоритета и, соответственно,  $i = p$  – самый низкий.

Заявки, поступающие в систему, обслуживаются одной группой операторов. Если в группе имеется несколько свободных операторов, заявка поступает на обслуживание к тому оператору, который был свободен дольше других. Если в группе есть хотя бы один свободный оператор, заявка, требующая обслуживания, поступает к этому оператору. Если в момент поступления заявки все операторы заняты, заявка помещается в соответствующую ее типу очередь. Каждой очереди заявок присвоен определенный приоритет в обслуживании. Для упрощения модели будем считать, что производительность всех операторов в группе одинакова. Но для времени обслуживания запросов, поступающих из разных очередей, аналогичное упрощение недопустимо.

Процесс обслуживания заявок отдельным рабочим местом оператора (РМО) контакт-центра предлагается описывать СМО с относительным приоритетом; уже начатая процедура обслуживания доводится до конца, даже если во время ее реализации в систему поступает требование с более высоким приоритетом. Запросы, имеющие одинаковый приоритет, обслуживаются по принципу «первым пришел – первый обслужен».

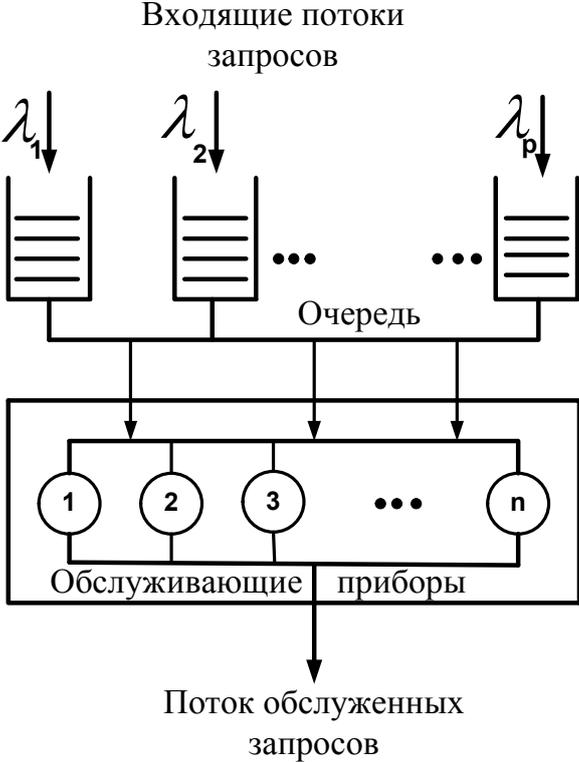


Рис. 3. Функциональная модель операторской подсистемы МКЦ с приоритетным обслуживанием

Основная задача данного раздела заключается в получении выражений для времени ожидания начала обслуживания  $W_k$  и времени пребывания  $T_k$  в системе запроса  $k$ -го приоритета ( $k = 1, \dots, p$ ). Отметим, что каждый тип запросов разных классов имеет свое время обслуживания. Исследуемая модель требует общего времени обслуживания, и для этого нужно брать среднее полное времени обслуживания всех типов запросов разных классов. Вводится обозначение  $S$  – среднее полное время обслуживания поступивших в МКЦ всех типов запросов разных классов, т.е. время от начала предоставления информационной услуги до его завершения.

Очевидно, 
$$T_k = W_k + S \tag{1}$$

Исследование ВВХ СМО, реализующих приоритетную дисциплину обслуживания вызовов, проводилось в большом числе научных работ разного направления. Для решения задач диссертационной работы используется соответствующим образом адаптированная математическая модель СМО типа М/М/п с относительным приоритетом, примененная в работах Kella O., Yechiali U.

Среднее время  $W_k$  ожидания обслуживания в очереди заявки  $k$ -го приоритета определяется следующими формулами:

$$W_k = \frac{\pi}{n \cdot \mu(1 - \sigma_k)(1 - \sigma_{k-1})} \tag{2}$$

Второй момент времени ожидания обслуживания запроса  $k$ -го приоритета равен:

$$W_k^2 = \frac{2\pi(1-\sigma_k \cdot \sigma_{k-1})}{(n\mu)^2(1-\sigma_k)^2 \cdot (1-\sigma_{k-1})^3} \quad (3)$$

$$\pi = \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!(1-\rho)} \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda/\mu)^i}{i!} + \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!(1-\rho)} \right]^{-1}; \quad \sigma_k = \sum_{i=k}^P \rho_i; \quad \sigma_k \ll 1; \quad \rho = \frac{\lambda}{n\mu}; \quad \lambda = \sum_{i=1}^P \lambda_i.$$

где  $\pi$  – стационарная вероятность того, что все операторы заняты;  $\sigma_k$  – коэффициент загрузки запросов приоритетов класса 1 до  $k$ ;  $\rho$  – коэффициент загрузки в системе;  $\lambda$  – суммарная интенсивность поступления заявок всех категорий.

Полученные для базовой модели математические зависимости характеристик обслуживания заявок от параметров системы при использовании приоритетных дисциплин обслуживания заявок, в том числе, в случае использования относительного приоритета, позволяют выполнить достаточно полный анализ свойств исследуемой системы.

На рис. 4 приведены графики зависимости времени ожидания в очереди при разных значениях суммарной нагрузки  $\rho$  запроса разных типов приоритета. В соответствии с приоритетной стратегией получаем: первый уровень приоритета – речевых запросов; второй уровень приоритета соответствует запросам пользователей социальных сетей (например, Вконтакте, Facebook, Twitter), запросам пользователей систем мгновенного обмена текстовыми сообщениями – IM. В данном случае рассматриваются запросы от систем IM (ICQ, AOL и подобные), запросы через Web Chat, наконец, запросы через службу SMS, MMS от пользователей СПС; третий уровень приоритета – факс, электронная почта.

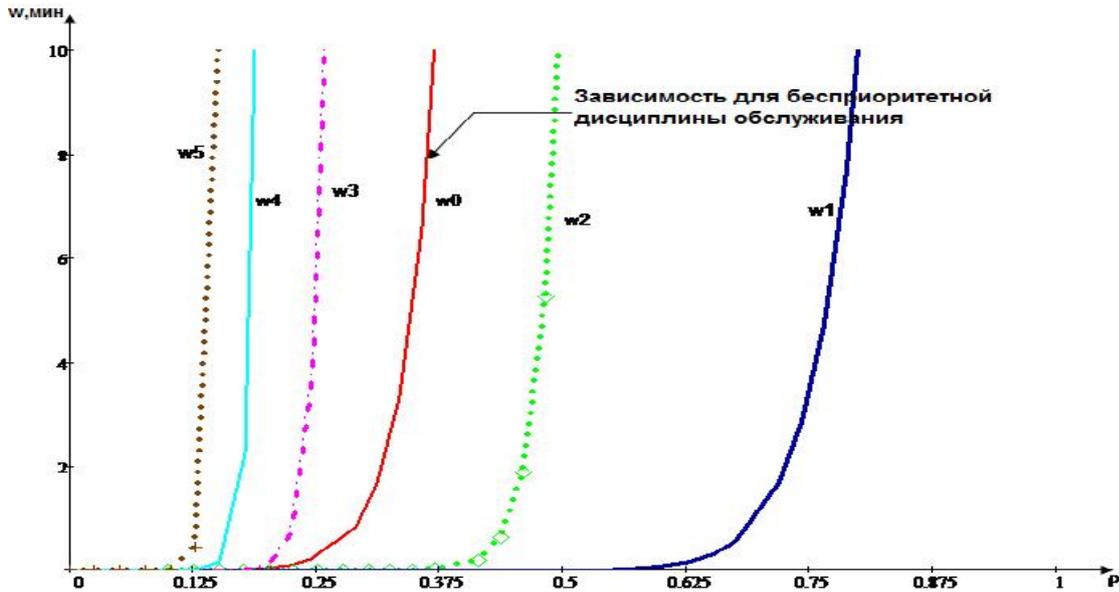


Рис. 4. Зависимости среднего времени ожидания запросов разного типа в системе от её суммарной нагрузки для приоритетной и беспriorитетной дисциплин обслуживания

Анализ влияния суммарной нагрузки системы на характеристики обслуживания заявок показывает, что среднее время ожидания заявок всех классов растет с увеличением нагрузки, причем более резко в области больших значений особенно для заявок низкоприоритетных классов. На низких же уровнях нагрузки, для беспriorитетной реализации, время ожидания запроса в очереди незначительно и меньше, чем для большинства запросов приоритетной системы.

Однако, т.к. большинство существующих контакт-центров функционирует при нагрузках больше средней, то применение приоритетных дисциплин, в случае разнотипных потоков запросов, целесообразно.

В диссертационной работе не предлагались аналитические модели операторских подсистем разноприоритетного трафика в случае произвольных процессов поступления и обслуживания запросов.

**В третьей главе** производится анализ подсистемы мультисервисного контакт-центра с отложенным обслуживанием (off-line мультисервисный контакт-центр). На основе модели объекта исследования, проведенного в первом разделе, разработаны алгоритм функционирования и функциональная модель off-line мультисервисного контакт-центра. Проводится исследование нагрузки, поступающей в контакт-центр, с учетом её самоподобных свойств. Разрабатывается математическая модель для расчета ВВХ МКЦ с отложенным обслуживанием.

Алгоритм функционирования каждой конкретной реализации контакт-центра с отложенным обслуживанием включает в себя базовую структуру, которая описана ниже. Клиент посылает запрос операции с использованием одного из доступных методов, таких как речевые сообщения, SMS, MMS, электронная почта, мгновенные сообщения, включая веб-форму запроса и т.д. Запрос может быть сформулирован как вопрос в свободной форме. Далее требование переходит к оператору. Маршрутизация запросов к оператору осуществляется автоматически, с использованием ряда условий, таких как состояние занятости оператора, его опыт и специализация. Обслуживание запроса, как правило, базируется на поисковой системе общего пользования (интернет-сервисе). Когда ответ готов, оператор сообщает об этом потребителю различными способами, например, при помощи системы интерактивного обмена текстовыми сообщениями web-чат, SMS, MMS, электронной почты, и т.д. Алгоритм обработки запроса представлен на рис. 5 и характеризуется следующими основными шагами

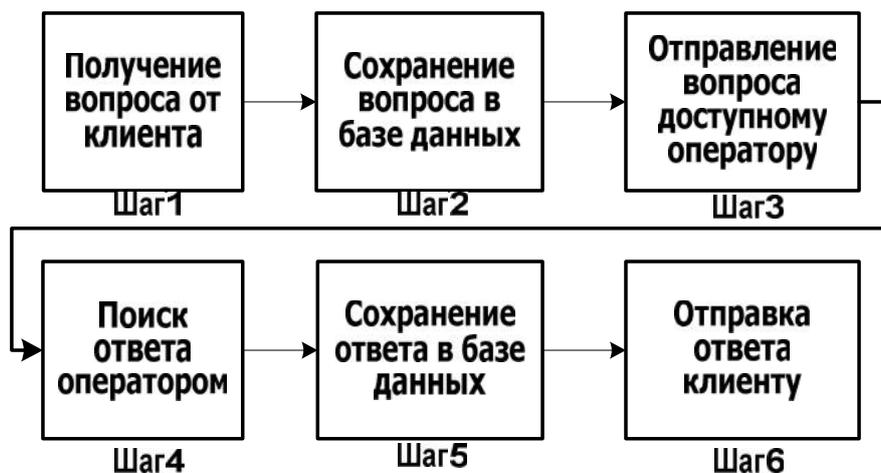


Рис. 5. Алгоритм обработки запроса для системы с отложенным обслуживанием

Модель функционирования контакт-центра с отложенным обслуживанием характеризуется следующим образом. Запросы предоставления информационных услуг передаются пользователем на web-сервер через браузер – клиентское программное обеспечение, являющееся терминалом www. Действия оператора системы, функционирующей в режиме off-line, – это, прежде всего, поиск ответов на запросы с помощью Интернет. Следовательно, Web-подсистема МКЦ включает интерфейс только для одного типа запросов.

Данным типом запросов является посылаемый браузером в соответствующем методе протокола HTTP идентификатор (URI, Uniform Resource Identifier), определяющий нахождение определенного документа в сети в целом и его расположение непосредственно на сервере Web. Под документом будем понимать любой файл или динамически генерируемую информацию, которые могут быть запрошены браузером в процессе предоставления пользователю услуги.

В работе определяются особенности поступления и обработки потоков запросов для операторской подсистемы off-line контакт-центра. В ряде случаев процесс поступления запросов на операторскую подсистему подчиняется показательному распределению. Данный факт имеет экспериментальные подтверждения во множестве классических работ многих ученых, таких как Dr Thomas V.Fowler, Martin Arlitt и других.

Отдельным вопросом стоит проблема моделирования процессов обслуживания запросов off-line подсистемой. Важной особенностью процесса обслуживания запросов off-line является их сильная зависимость от типов вопросов, которые клиенты будут задавать, поскольку длительность формирования ответа зависит от типа запроса. В разделе 3.3 работы приводятся подтверждения того, что при поступлении вопросов в свободной форме распределение времени обслуживания является логнормальным (LN).

Кроме того, некоторые исследователи предлагают использовать усеченные распределения, например, ограниченное логнормальное (BLN) поскольку поиск не может продолжаться слишком долго. Такое искусственное ограничение позволяет в некоторых случаях уменьшить погрешность при моделировании, приблизив моделирующий процесс к реальному, что важно в случаях сложных реальных процессов. Приведенные исходные данные позволяют детально изложить и апробировать методы исследования ВВХ операторской подсистемы МКЦ с отложенным обслуживанием. На рис. 6 представлена функциональная модель МКЦ с отложенным обслуживанием.

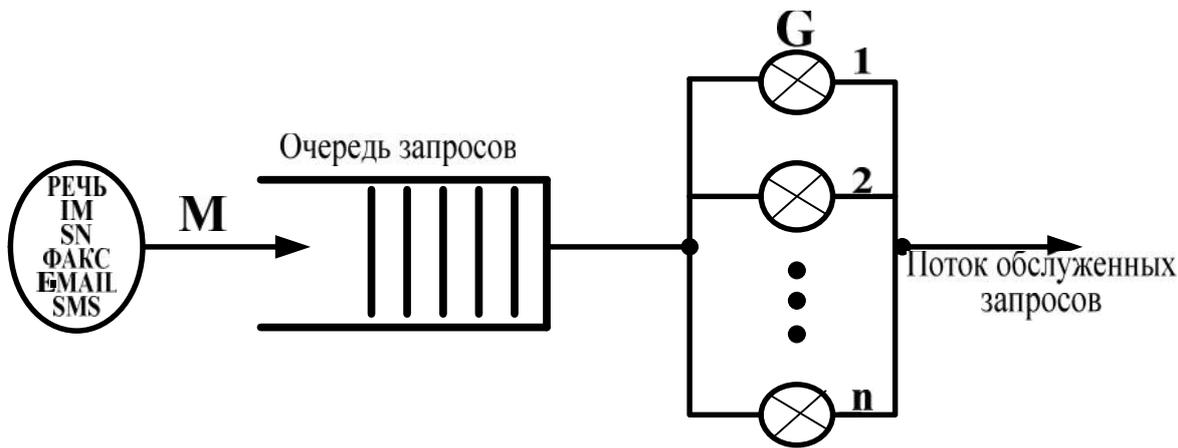


Рис. 6. Функциональная модель МКЦ с отложенным обслуживанием

Одна из задач раздела – определение искомым характеристик и обоснованных способов их нахождения. Важными характеристиками являются время ожидания  $W$  в очереди и время пребывания  $T$  в системе.

Время пребывания запроса в системе равно:

$$T = W + S \tag{4}$$

где  $S$  - среднее время обслуживания.

Для получения приблизительных аналитических выражений времени ожидания запроса в очереди для моделей СМО типа  $M/LN/n$  можно воспользоваться рядом существующих аппроксимационных формул для времени ожидания в очереди модели СМО  $M/G/n$ .

Закон Кингмана для высоких уровней нагрузки при малом числе операторов утверждает, что задержка в очереди может аппроксимироваться экспоненциальным распределением. При этом среднее время ожидания обслуживания в очереди равно:

$$W \approx W_{M/M/n} \cdot \left( \frac{1 + C_v^2}{2} \right) \tag{5}$$

где  $W_{M/M/n}$  – среднее время ожидания обслуживания запроса в очереди системы СМО типа M/M/n

$$W \approx E_{2,n}(A) \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \cdot \left( \frac{1+C_v^2}{2} \right) \quad (6)$$

Аппроксимация Кингмана для высокой загрузки линий предполагает, что большая часть вызовов будет поставлена в очередь. Тогда, положив  $E_{2,n}(A) \approx 1$ , можно записать:

$$W \approx \left( \frac{1}{n} \right) \cdot S \cdot \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \cdot \left( \frac{1+c_v^2}{2} \right), \quad (7)$$

где  $C_v^2$  – обозначает квадрат коэффициента вариации времени обслуживания,  $\rho$  – коэффициент загрузки в системе.

Для модели СМО вида M/LN/n выражения для вычисления приближенного значения среднего времени пребывания запроса в очереди имеет вид:

$$W \approx \left( \frac{1}{n} \right) \cdot S \cdot \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \cdot \left( \frac{1+c_v^2}{2} \right) \quad (8)$$

$$C_v^2 = e^{\sigma^2} - 1$$

$$S = \exp\left(\frac{1}{2} \cdot \sigma^2 + m\right)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{n} \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \cdot \sigma^2 + m\right)$$

где  $m, \sigma$  – параметры логнормального распределения для процесса обслуживания.

На рис. 7 представлена зависимость времени ожидания запроса операторской подсистемой от загрузки системы при показательном характере распределения интервалов поступления и логнормальном для времени обслуживания запросов (СМО M/LN/n), по сравнению с СМО M/M/n.

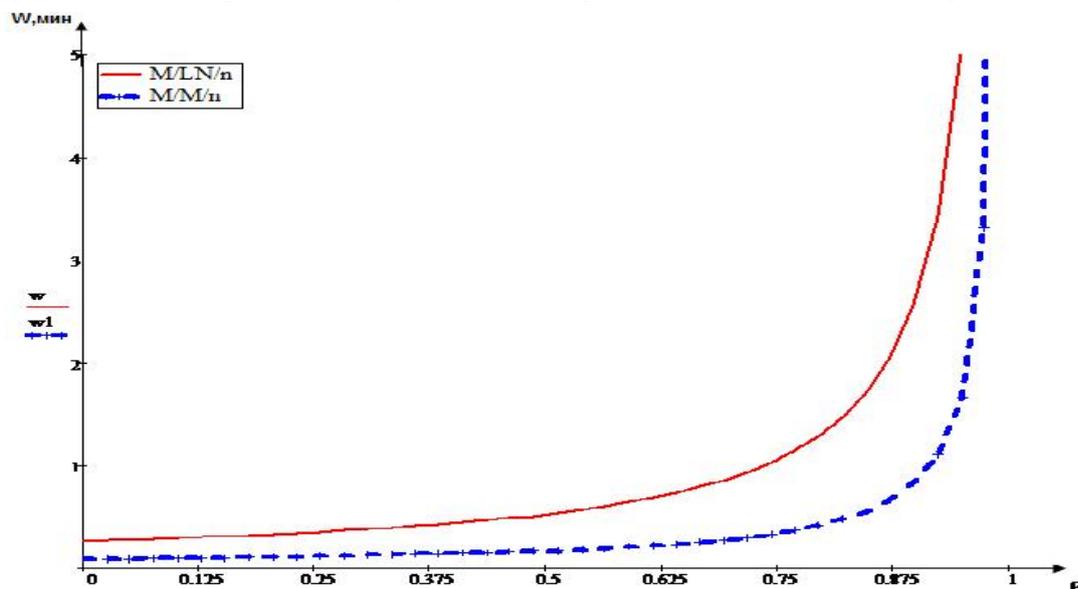


Рис. 7. Зависимость времени ожидания запроса в системе от её загрузки для СМО M/LN/n по сравнению с СМО M/M/n

Параметры распределения времени обслуживания запросов:  $\sigma = 1.35$   $m = -0.89$ , среднее время обслуживания равно 1.021 мин. Максимальная средняя интенсивность поступления запросов за минуту  $\lambda = 11.748$ , при этом  $\rho = 1$  и  $n = 12$ . Параметры модели СМО М/М/п выбраны соответствующие.

Результаты, полученные во втором и третьем разделах, положены в основу методики проектирования мультисервисных контакт-центров, алгоритм которой приводится в четвертом разделе работе.

**Четвертая глава** посвящена вопросам разработки методики практического проектирования, экспериментальной проверке моделей, предложенных в главах 2 и 3, и вопросам имитационного моделирования ВВХ МКЦ. Глава включает в себя уточнения относительно предлагаемых имитационных моделей, особенности применения предпринятых подходов, а также пример применения разработанной методики.

Базой для натурального эксперимента в целях проверки предложенной в диссертационной работе модели является практическая реализация комплекса контакт-центра «Протей-112» в МВД. На рис 8. приведена развернутая схема комплекса «Протей-112»

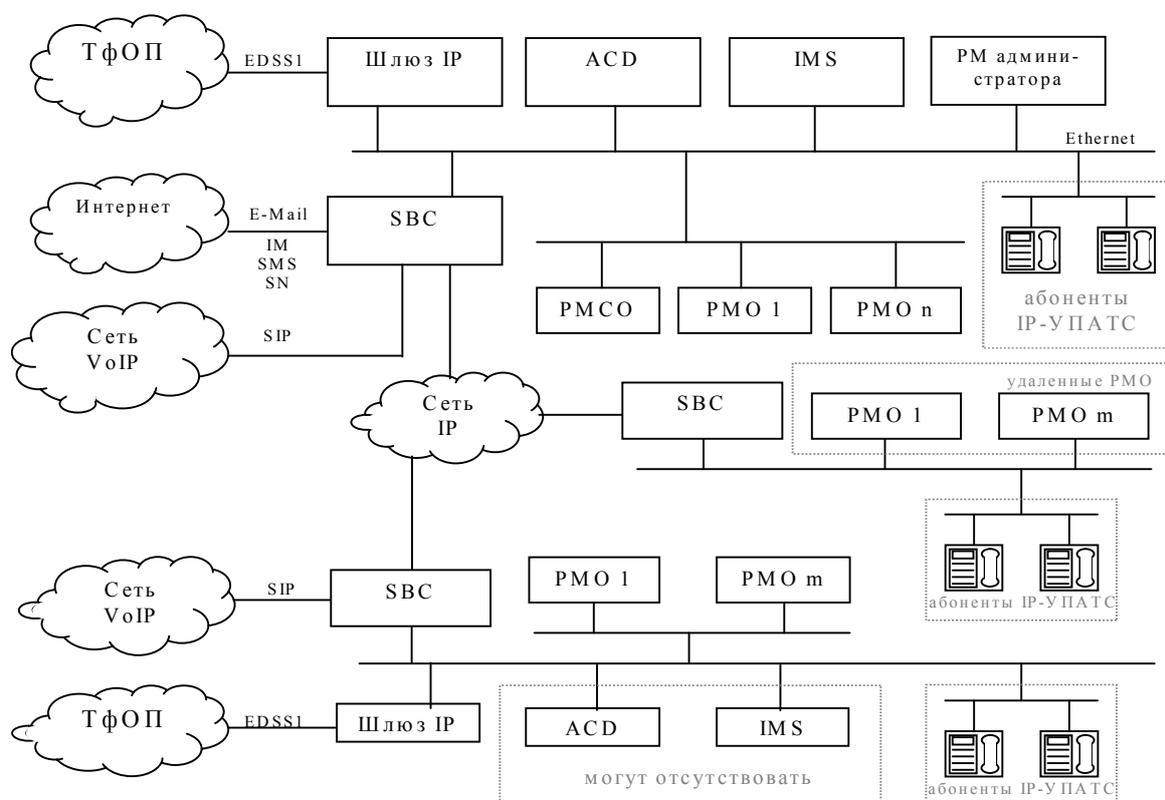


Рис. 8. Структурная схема контакт-центра «Протей-112»

Целью эксперимента является нахождение числа операторов, необходимых в каждой смене (7 дней работы), которое удовлетворяло бы кадровые потребности моделей массового обслуживания, предложенных в главе 2.

В МКЦ поступают вызовы 3-х разных типов: первый – экстренные вызовы полиции (02), второй – комплексный экстренный вызов – это одновременный вызов полиции, скорой помощи или пожарной части (02, 03, 01), третий – не экстренные вызовы, т.е. обычные вызовы. Далее эти 3 вида вызовов разделены на 2 приоритетных класса ( $p=2$ ):  $p_1$  – экстренные вызовы (02) с возможностью одновременного вызова (03) и (01),  $p_2$  – обычные вызовы. Предложенные в работе математические модели позволяют получить необходимое количество операторов для часовых временных интервалов типовой рабочей недели (168 часов, с полуночи в понедельник к полуночи в воскресенье), которое обеспечит работу полицейского контакт-центра и обслуживание экстренных и не экстренных запросов с заданным качеством.

На самом деле в МКЦ больше внимания выделяется на запросы приоритета 1, так как запросы  $P_2$  менее важны, их можно игнорировать. Следовательно, действуя по методике раздела 4.1, воспользовавшись выражениями (1.3) главы 1 и (2.1) главы 2, где определяется число операторов  $n$ , можно сделать следующие выводы:

1. Число операторов, полученное в результате расчета, оказывается несколько завышенным по отношению к данным эксперимента, если растет суммарная нагрузка в системе, но все же приемлемо для приближенной оценки на практике.
2. Оценка используемого комплекса технических средств проводилась в течение времени натурального эксперимента, достаточного для выяснения всех аспектов функционирования ситуационного центра. Можно констатировать, что переход на IP-технологии позволил обеспечить требования, предъявляемые к качеству передачи информации (речи, данных и видео) при связи с операторами экстренных служб. При этом следует учесть, что расчет числа операторов должен быть сделан корректно при наличии их квалификации, должен быть правильно осуществлен выбор математической модели. Тогда не будет наблюдаться перегрузка системы.

В случае произвольных потоков заявок, отличающихся от простейших, аналитический расчет ВВХ обслуживания заявок значительно усложняется. В этом случае целесообразно вместо аппроксимирующих аналитических выражений использовать имитационное моделирование.

В математических моделях сложных объектов, представленных в виде систем массового обслуживания (СМО), фигурируют средства обслуживания, называемые обслуживающими приборами (ОП), и обслуживаемыми заявками. Состояние СМО характеризуется состояниями ОП, заявки и очередей к ОП. Особым классом математических моделей являются имитационные модели. Они представляют собой компьютерную программу, которая шаг за шагом воспроизводит события, происходящие в реальной системе. Имитационная модель СМО представляет собой программную модель сложной системы, в которой отражены структура, алгоритмы развития и протекания процессов во времени, временные характеристики отдельных элементов. Основное свойство ОП, учитываемое в модели СМО, – затраты времени на обслуживание, поэтому внутренними параметрами в модели СМО являются величины, характеризующие это свойство ОП.

Обычно время обслуживания рассматривается как случайная величина, и в качестве внутренних параметров фигурируют параметры законов распределения этой величины. Имитационное моделирование операторской подсистемы с отложенным обслуживанием, включающее показательные законы поступления вызовов, логнормальные законы обслуживания (распределения с тяжелым хвостом), проведено в данном разделе. Преимуществом имитационных моделей является возможность подмены процесса смены событий в исследуемой системе в реальном времени на ускоренный процесс смены событий. В результате можно воспроизвести работу системы в течение продолжительного времени, что дает возможность оценить её работу в широком диапазоне варьируемых параметров. Особенность использованной программы заключается в том, что она позволяет легко добавлять и удалять нужные поступающие вызовы, в зависимости от исследуемой системы.

Реализация распределений процессов обслуживания запросов основана на встроенных в программный пакет GPSS функциях. Набор текста программ, разработанных в рамках диссертации, представлен в приложении к работе. На рис. 10 приведены результаты имитационного моделирования и зависимость времени ожидания запроса операторской подсистемы от загрузки системы СМО  $M/LN/n$ .

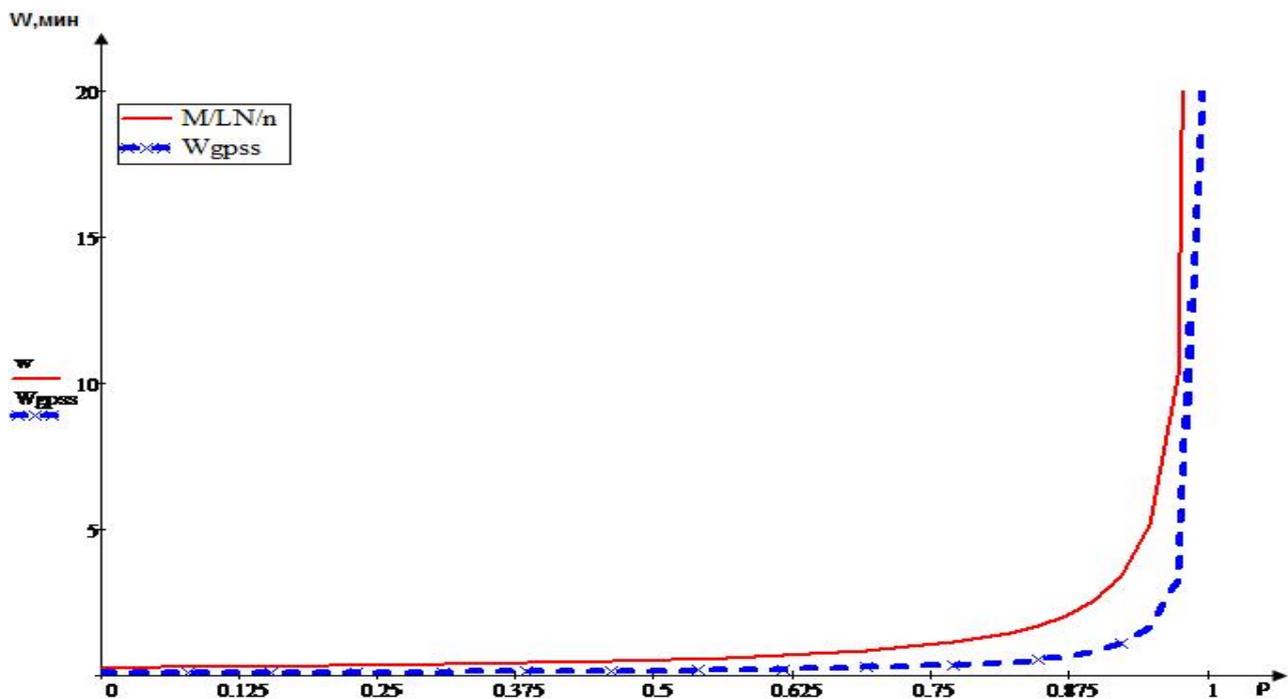


Рис. 10. Зависимость времени ожидания запроса в системе СМО  $M/LN/n$  от ее загрузки и результаты имитационного моделирования

На основании сравнения с результатами имитационного моделирования можно сделать вывод о точности аналитических моделей. На уровне загрузки 0,875 расхождение результатов аналитического и имитационного моделирования, составляет около 10%.

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 МКЦ на этапе их проектирования и эксплуатации.

Проектирование контакт-центра основывается на расчете параметров согласно математическим моделям, разработанным в главах 2 и 3. В разделе 2.4.1 работы отмечалось, что важнейшим техническим параметром, оказывающим влияние на качество предоставления информационных услуг пользователю, уровень затрат владельца центра и исследуемым в работе, является число операторских рабочих мест контакт-центра.

SDL-диаграммы методики проектирования мультисервисных контакт-центров, представленные на рис. 11 и 12, позволяют определить необходимое число операторских рабочих мест для подсистем прямого (on-line) и отложенного (off-line) обслуживания.

Состояния  $S_0 - S_3$  и старт процесса определяют время, в течение которого процесс определения искомых параметров контакт-центра находится в режиме ожидания ввода исходных данных — общее назначение контакт-центра, данные о входящих потоках запросов, удовлетворительное время ожидания обслуживания и необходимое число мест операторской подсистемы.

**Приложение** содержит описание элементов, обеспечивающих функционирования ситуационного контакт-центра «Протей-112» и тексты программ имитационного моделирования на ЭВМ, выполненных для языка GPSS.

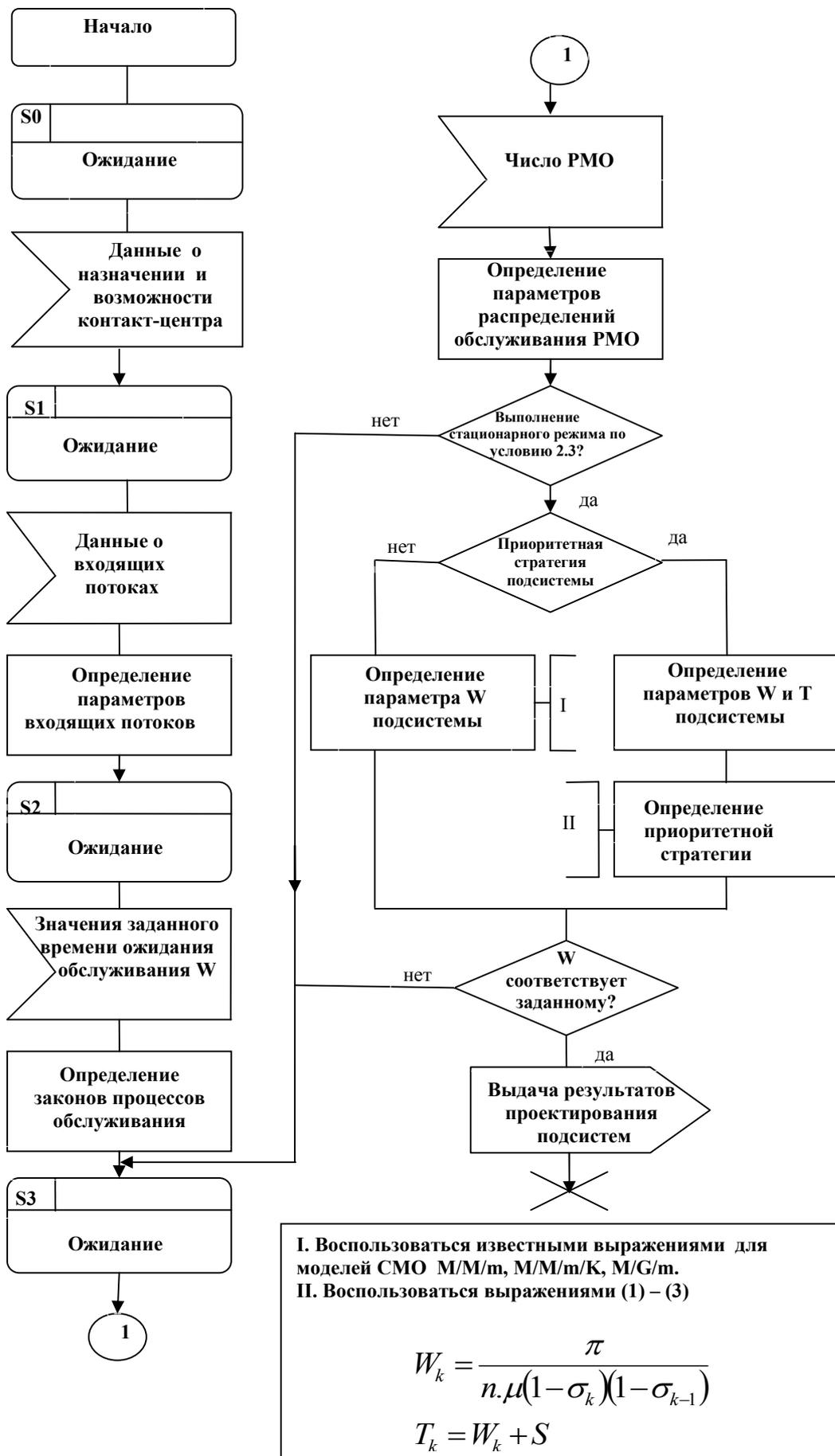


Рис.11. SDL-диаграмма методики проектирования on-line МКЦ

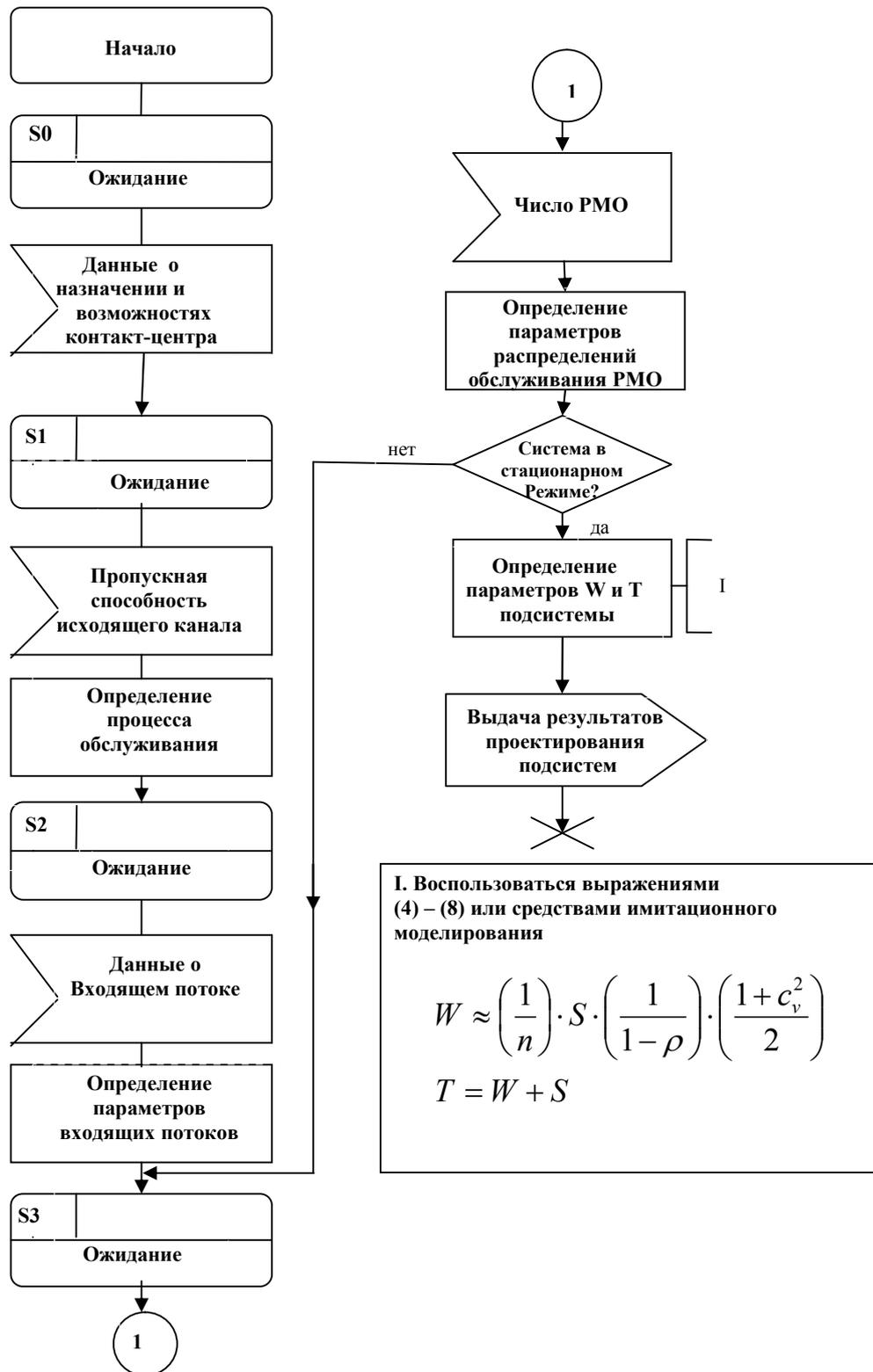


Рис.12. SDL-диаграмма методики проектирования off-line МКЦ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных в диссертационной работе исследований получены следующие основные результаты:

1. Разработано формализованное описание объекта исследования диссертационной работы – мультисервисного контакт-центра.
2. Исследованы потоки вызовов, поступающих в контакт-центр, с целью определения их особенностей и их совместной обработки.
3. Разработан метод расчетов ВВХ контакт-центра при обслуживании разнотипных потоков вызовов по относительной приоритетной дисциплине.
4. Проведено исследование контакт-центра с отложенным обслуживанием запросов и разработан метод нахождения основных ВВХ такого контакт-центра.
5. Разработана имитационная модель, позволяющая проводить оценку ВВХ контакт-центра с отложенным обслуживанием запросов.
6. На основании результатов диссертационной работы разработана схема обобщенной методики проектирования мультисервисного контакт-центра.
7. Разработанные метод, аналитические и имитационная модели контакт-центра позволяют повысить качество их проектирования и эффективность использования ресурсов центра.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Диби В.Н., Приоритетные модели обслуживания запросов в современных контакт-центрах // Тез, Докл. 62-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы/ГОУВПО СПбГУТ.– СПб, 2010.– С.22–23
2. Зарубин А.А., Диби, В.Н. Исследование off-line контакт-центра // Тез, Докл. 62-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы/ГОУВПО СПбГУТ.– СПб, 2010.– С.24–25
3. Diby V.N., Simulation contact centers with delayed serving information calls // Тез, Докл. XLVI юбилей всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии. Конференция посвящается 50-летию дня основания российского университета дружбы народов: материалы/ Москва, 2010.
4. Диби В.Н., Режим функционирования и порогово-приоритетного управления модели ЦОВ с несколькими классами вызовов // Тез, Докл. 64-й научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов: СПбГУТ.– СПб, 2010.
5. Диби В.Н., Сравнительный анализ ВВХ IPCC // Тез, Докл. 64-й научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов: СПбГУТ.– СПб, 2010.
6. Диби В.Н., Моделирование контакт-центров с отложенным обслуживанием заявок на информационные услуги // Изв. Вузов России, Радиоэлектроника.– СПб, 2010.– № 3.– С. 42– 47. (из перечня ВАК РФ)
7. Диби, В.Н. Приоритетные модели обслуживания запросов современных контакт-центров// Изв. вузов России, Радиоэлектроника.– СПб, 2010.– № 4.– С. 39– 45. (из перечня ВАК РФ)
8. Диби В.Н., Результаты исследования on/off-line контакт-центров // Тез, Докл. 63-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы/ГОУВПО СПбГУТ.– СПб, 2011.– С.
9. Диби В.Н., Беляев В.Р., Колеватов А.С. Оптимизация приоритетной модели операторской подсистемы контакт-центра страховой компании с приоритетным обслуживанием запросов на информационные услуги // Вестник Российской военно-медицинской академии (Приложение).- 2011.- № 1(33).- С. 42 – 43. (из перечня ВАК РФ)

---

Подписано к печати 16.06.2011.

Тираж 80 экз. Объем 1 печ. л. Заказ №

Тип. СПбГУТ, 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61

---