

На правах рукописи

**Малов Алексей Викторович**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ  
КОНТАКТ-ЦЕНТРОВ НА БАЗЕ IP-ТЕЛЕФОНИИ**

Специальность: 05.13.15 - Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2010

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Казак Александр Филиппович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Яковлев Сергей Алексеевич  
кандидат технических наук Степанов Александр Геннадьевич

Ведущая организация – ОАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.01 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций  
к.т.н.

Щеголева Н.Л.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время развитие информационных технологий идет очень динамично. Многие предприятия и государственные структуры активно внедряют их для увеличения качества обслуживания клиентов и населения. Хорошо известно, что одним из видов повышения уровня обслуживания является предоставление услуг центра обслуживания вызовов (ЦОВ). Следует отметить, что данные ЦОВ часто предназначены не только для получения какой-либо справочной информации и т.п., но и для вызова спецслужб (например, служба скорой медицинской помощи, пожарная служба, Министерство Чрезвычайных Ситуаций), а также для получения неотложной консультации. В данных случаях к ЦОВ предъявляются особые требования по надежности, так как от их работоспособности может зависеть благополучный исход в чрезвычайных ситуациях.

Одним из наиболее современных и перспективных видов ЦОВ являются контакт-центры на базе IP-телефонии. Данное обстоятельство объясняется повышенным интересом к технологиям Internet Protocol (IP)-телефонии, использование которой позволяет в значительной мере снизить стоимость телефонной связи. Многие компании, работающие в области коммуникаций, активно выпускают оборудование для IP-телефонии. Однако контакт-центры на базе IP-телефонии не лишены своих недостатков. К недостаткам данных систем можно отнести необходимость использования дополнительных решений для повышения надежности оборудования. К сожалению, в настоящее время, как в зарубежной, так и в отечественной литературе отсутствуют общедоступные инженерные методики построения надежных контакт-центров, что обуславливает актуальность тематики исследований.

Задача надежности и качества функционирования является одной из важных задач, решаемых на всех этапах проектирования, внедрения и эксплуатации контакт-центров. При этом даже в самом простом своем исполнении контакт-центр представляет собой вычислительную систему. Фактор возникновения отказов оборудования и его связь с характеристиками надежности и качества функционирования, как компонентов, так и контакт-центра в целом имеет большое значение. Для учета этого фактора при проектировании и разработке контакт-центров требуется разработать соответствующие модели.

Для решения задачи обеспечения отказоустойчивости контакт-центров и выработки методики их проектирования требуется разработать научную основу архитектурных, структурных, логических принципов создания контакт-центров на базе IP-телефонии. Данная основа включает в себя математические модели, позволяющие оценить эффективность тех или иных вариантов организации контакт-центра с точки зрения отказоустойчивости. Также требуется определить методы, позволяющие повысить надежность и качество функционирования контакт-центров. Данные модели и методы позволят проектировать и создавать контакт-центры, обладающие высокими качественными и эксплуатационными показателями.

**Целью диссертационной работы** является разработка инженерной методики построения и решение задачи организации отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решаются следующие задачи:

1. Исследование архитектуры, принципов построения и организации контакт-центров на базе IP-телефонии, с целью выявления проблем отказоустойчивости и качества функционирования присущих исследуемой системе. Анализ и выбор методов для обеспечения отказоустойчивости контакт-центров.

2. Создание математических моделей функционирования и методов оценки надежности контакт-центров, позволяющих учитывать вид и характеристики контроля, время подключения резерва и другие параметры. Создание имитационных моделей, для проверки достоверности аналитических результатов.

3. Исследование особенностей процесса обслуживания вызовов в контакт-центрах на базе IP-телефонии. Создание моделей, позволяющих оценить качество функционирования контакт-центров с учетом возможных отказов оборудования.

4. Разработка инженерной методики проектирования отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями.

**Методы исследования.** Исследования проводились с использованием математического аппарата марковских и полумарковских процессов, математической статистики, теории надежности, теории восстановления, теории массового обслуживания. Также при решении поставленных в диссертационной работе задач использовались методы статического моделирования случайных процессов на ЭВМ.

**Научная новизна.** Новизну представляют следующие научные результаты:

1. Исследованы архитектура, принципы построения и организации контакт-центров на базе IP-телефонии. Выявлено, что наиболее критичными с точки зрения отказоустойчивости являются серверы системы распределения вызовов (СРВ), модуль IP-телефонии и шлюз IP-телефонии. Впервые определены и адаптированы для контакт-центров методы, которые следует использовать для повышения надежности контакт-центров на базе IP-телефонии и их подсистем. В число данных методов входят кластерный подход с различными режимами использования резерва, общий резерв для однотипных компонентов (в основном серверов), а также комбинированные подходы.

2. Показана применимость известных математических моделей и методов, а также созданы новые модели и методы для оценки характеристик надежности контакт-центров. Предложенные модели позволяют учесть параметры непрерывного (аппаратного) и/или периодического (программного) контроля, время подключения резерва. В отличие от большинства существующих, модели позволяют учитывать не экспоненциальный характер распределения периода тестового контроля, а также времени подключения резерва, что более близко к характеристикам реальных систем. Созданы соответствующие имитационные модели, подтвердившие правильность аналитических результатов.

3. Предложены модели, позволяющие оценить качество функционирования контакт-центров с учетом возможных отказов оборудования. Использование предлагаемых моделей позволяет учесть различную интенсивность поступления, различное число мест в системе для вызовов со стороны телефонной сети общего пользования (ТфОП), IP-телефонии и другие особенности обслуживания вызовов в контакт-центрах на базе IP-телефонии.

4. Впервые разработана и представлена в виде алгоритма инженерная методика проектирования отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Наиболее критичными с точки зрения отказоустойчивости подсистемами контакт-центра являются серверы СРВ, модуль IP-телефонии и шлюз IP-телефонии. В число методов, которые следует использовать для повышения надежности контакт-центров на базе IP-телефонии и их подсистем, входят кластерный подход с различными режимами использования резерва, общий резерв для однотипных компонентов (в основном серверов), а также комбинированные подходы.

2. Математические модели и методы для оценки характеристик надежности контакт-центров, спроектированных с применением различных методов повышения отказоустойчивости. Предлагаемые модели позволяют учесть параметры непрерывного (аппаратного) и/или периодического (программного) контроля, время подключения резерва.

3. Модели, позволяющие оценить качество функционирования контакт-центров с учетом возможных отказов оборудования. Использование предлагаемых моделей позволяет учесть различную интенсивность поступления в контакт-центр, различное число мест в системе для вызовов приходящих со стороны ТфОП, IP-телефонии и другие особенности обслуживания вызовов в контакт-центрах на базе IP-телефонии.

4. Инженерная методика проектирования отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что предложен ряд моделей и методов, которые позволяют обеспечить отказоустойчивость, оценить качество функционирования контакт-центров на базе IP-телефонии. Данные модели и методы, как отдельно, так и в сочетании с другими моделями и методами, могут применяться для обеспечения надежности и оценки качества функционирования контакт-центров как на стадии их проектирования, так и для анализа характеристик разработанных систем. Разработана и предложена инженерная методика, позволяющая проектировать контакт-центры, обладающие высокими качественными и эксплуатационными показателями. Созданные модели и научную основу принципов организации отказоустойчивых контакт-центров можно использовать при дальнейших исследованиях. В частности можно собирать статистику отказов различных контакт-центров и производить дальнейшие исследования на отказоустойчивость. Также представляет интерес исследование работоспособности контакт-центров при критическом возрастании нагрузки, например, в результате какого-либо чрезвычайного происшествия, затронувшего большое число граждан и т.п.

**Достоверность результатов** исследования подтверждается корректным использованием математического аппарата, результатами экспериментальных исследований на программных моделях и результатами испытаний реальной системы, при создании которой использовались предложенные модели и методики.

**Внедрение результатов** заключается в использовании разработанной методики при проектировании контакт-центра и результатов работы в учебном процессе кафедры ВТ СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались в широком кругу специалистов и ученых на кафедре ВТ СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, а также на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ “ЛЭТИ” (Санкт-Петербург, 2009-2010).

**Публикации.** Основные теоретические и практические результаты по теме диссертации опубликованы в 4 статьях, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, 2 статьи в других изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 80 наименований. Основная часть работы изложена на 112 страницах машинописного текста. Работа содержит 24 рисунка.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, определяются цель и задачи исследования, формулируются научная новизна и практическая ценность результатов.

**В первой главе** вводятся основные понятия и определения, анализируются возможные подходы к построению отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями.

Анализ основных функций контакт-центра и его устройства показывает, что он представляет собой некоторую систему обслуживания поступающих на вход вызовов. Процесс функционирования контакт-центра образуется из наложения возможных отказов оборудования и программного обеспечения на процесс обслуживания поступающих вызовов. Результатом такого наложения является ухудшение показателей качества функционирования контакт-центра, что вызывает необходимость принятия дополнительных мер для повышения отказоустойчивости.

На рис. 1. приведена функциональная схема контакт-центра на базе IP-телефонии. Следует отметить, что блоки, изображенные на этом рисунке, являются скорее функциональными, чем физическими, а их размещение по отдельным физическим устройствам может быть самым произвольным. Физически все модули ЦОВ, включая шлюз IP-телефонии, так как он является специальным программно-аппаратным комплексом, могут быть размещены на одном сервере.

Контакт-центр даже в самом простом варианте исполнения состоит из нескольких вычислительных машин, таким образом, он представляет собой вычислительный комплекс. Изученная статистика показала, что наиболее критичными с точки зрения отказоустойчивости являются серверы СРВ, модуль IP-телефонии и шлюз IP-телефонии, отказ любого из данных модулей приводит к неработоспособности всего контакт-центра.

К задаче повышения надежности контакт-центров не следует подходить односторонне, и нерационально резервировать оборудование и его составляющие. Например, при реализации дорогостоящих проектов связанных с космосом, энергетикой большие затраты на обеспечение отказоустойчивости, резервирование, контроль вполне допустимы. Как правило, для контакт-центров большие затраты зачастую

неприемлемы, поэтому при решении данной задачи следует экономить средства. Этого можно достичь, учитывая особенности контакт-центров на базе IP-телефонии.

Одним из возможных способов повышения надежности контакт-центра является кластеризация системы, за счет которой поддерживается высокий уровень надежности. Методика кластерной системы высокой готовности, подразумевает объединение двух или более единиц оборудования в единую подсистему, обеспечивающую ту или иную функциональность.

Существуют подходы, которые предполагают использование в качестве основных машин высоконадежные серверы с двукратным, а иногда и многократным, дублированием всех основных блоков и компонентов. Реализация системы, основанная на данном подходе, требует достаточно больших финансовых вложений, однако может иметь свои преимущества (не нужно заботиться о возможности подключения резерва и т.д.). Кластерный подход признает кластерную структуру достаточным условием для обеспечения отказоустойчивости, а аппаратная база может не иметь высокой надежности, но иметь возможность оперативной замены.

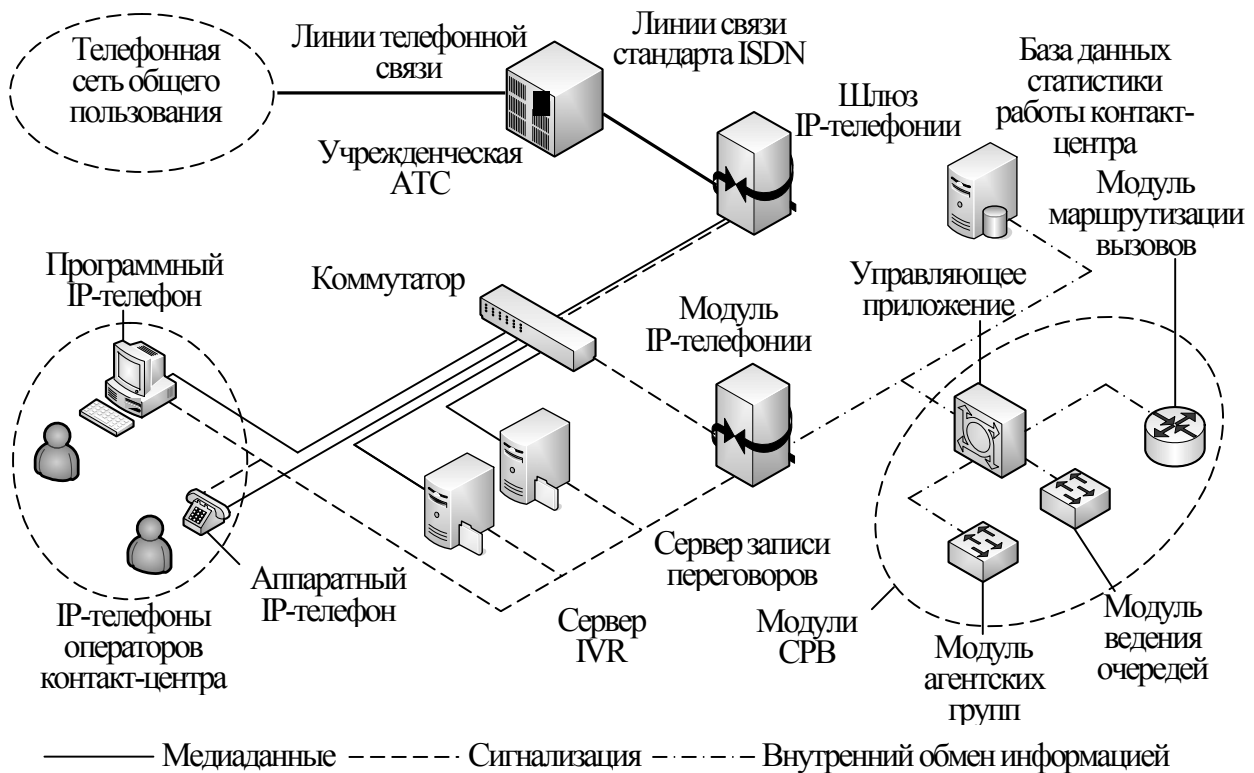


Рис. 1

Кластерный подход предполагает отдельное резервирование какого-либо компонента системы, отвечающего за определенную функциональность. Если в системе существует, несколько однотипных компонентов, то целесообразно использовать общие резервные элементы. Серверы контакт-центра с работающими на них модулями можно представить как набор однотипных элементов, и соответственно поставить задачу оценки «канальной» надежности. В таком случае рассматривается система из некоторого числа однотипных рабочих элементов с некоторым числом элементов, предназначенных для скользящего резерва, когда каждый резервный элемент может заменить любой из отказавших элементов.

Следует отметить, что при использовании подобных методик (впрочем, как и большинства других) улучшить качество функционирования контакт-центра можно в основном за счет быстрого восстановления работоспособности после отказа, так как вызовы, активные или находящиеся в очереди на обслуживание, могут быть потеряны при выходе из строя некоторых компонентов ЦОВ. Данные вызовы обслужены не будут, но пришедшие после обнаружения отказа и подключения работоспособного резерва вызовы будут обслуживаться обычным образом.

Существует множество работ, в которых рассматриваются вопросы надежности функционирования программного обеспечения сложных систем. Часть результатов данных работ можно использовать для обеспечения и оценки надежности программного обеспечения контакт-центров. Статистика показывает, что часто в реальных системах причиной отказа служат аппаратные неполадки. По данной причине результаты подобных работ недостаточны для комплексного анализа надежности контакт-центров.

Как показывает приведенный в диссертационной работе анализ, в настоящее время, отсутствуют конкретные методики построения отказоустойчивых контакт-центров и критериев оценки их надежности. Это вызывает необходимость разработки методики построения отказоустойчивых контакт-центров и соответствующих математических моделей.

**Во второй главе** исследуется эффективность методов организации контакт-центров на базе IP-телефонии по критерию надежности. Для данной цели исследуются математические модели функционирования контакт-центров, спроектированных как с применением различных методов повышения надежности, так и без них.

Показатели надежности существенно зависят от системы контроля работоспособности, которая в том или ином виде должна входить в состав отказоустойчивого контакт-центра. Имеющиеся в существующих работах модели резервированных систем построены с учетом идеальных (недостаточного набора) характеристик контроля работоспособности, либо рассмотрены модели систем, применяющихся в достаточно узких областях. Выявление возможных ошибок осуществляется с помощью постоянного (аппаратного) и периодического (программного) контроля. Качество аппаратного контроля, как правило, характеризуется вероятностью обнаружения отказа ( $\alpha < 1$ ), а тестового – периодом тестового контроля (Т). В данной главе приводятся математические модели функционирования и методы оценки надежности контакт-центров, позволяющие учесть параметры непрерывного и/или периодического контроля, время подключения резерва. Разработаны соответствующие имитационные модели, подтвердившие правильность аналитических результатов.

Рассматриваются математические модели контакт-центров спроектированных без использования методов повышения надежности. Описывается метод повышения надежности контакт-центров с использованием кластерной структуры, и рассматриваются соответствующие модели. Кластерные системы строятся в одной из двух базовых архитектур - с разделением ресурсов или без разделения ресурсов. В первом случае задача распределяется по машинам, входящим в кластер. Такой подход сочетает высокую отказоустойчивость и производительность. Данный режим называется режимом двойного использования. Во втором случае задача решается на одной из машин. Вторая машина выполняет функции горячего резерва. Данный режим называется режимом одиночного использования.



Данный способ можно использовать для серверов ядра контакт-центра, модуля IP-телефонии, шлюза IP-телефонии, а также для других компонентов контакт-центра. В составе контакт-центра может быть несколько кластеров, которые могут функционировать в разных режимах использования резерва, а также в его состав могут входить кластеры, которые используют общий резерв для своих элементов.

Для модели кластера функционирующего в режиме одиночного использования предполагаются известными следующие параметры устройств и контроля:

$\alpha$  - вероятность обнаружения отказа аппаратным контролем;

$T$  - период тестового контроля;

$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  - функция распределения времени наработки до отказа;

$G(t) = 1 - e^{-\mu t}$  - функция распределения времени восстановления;

$H(t) = \frac{t}{T}$ ,  $0 \leq t \leq T$  - функция распределения времени пребывания активного сервера в состоянии необнаруженного отказа;

$\pi(t)$  - функция распределения времени переключения на резерв.

На рис. 2 представлена диаграмма состояний системы. Кластерная система может находиться в следующих состояниях:

1 – основной сервер исправен, резервный – восстанавливается (или исправен);

2 – оба сервера восстанавливаются;

3 – основной сервер в состоянии необнаруженного отказа, резервный – исправен;

4 – основной сервер в состоянии необнаруженного отказа, резервный – восстанавливается;

5 – состояние переключения на исправный сервер.

Получены следующие выражения для математического ожидания (МО) времени наработки на отказ ( $M[\zeta]$ ) и МО времени восстановления кластерной системы ( $M[\xi]$ ):

$$M[\zeta] = -v'(0) = -[\varphi'_{12}(0) + \varphi'_{13}(0) + \varphi'_{14}(0) + \varphi'_{15}(0)] = -f'(0) = \frac{1}{\lambda}; \quad (1)$$

$$M[\xi] = -u'(0) = -[\varphi_{12}(0)[\varphi'_{25}(0) + \varphi'_{51}(0)] + \\ + \varphi_{13}(0)[\varphi'_{35}(0) + \varphi_{35}(0)\varphi'_{51}(0) + \varphi'_{32}(0) + \varphi_{32}(0)[\varphi'_{25}(0) + \varphi'_{51}(0)]] + \\ + \varphi_{14}(0)[\varphi'_{45}(0) + \varphi_{45}(0)\varphi'_{51}(0) + \varphi'_{42}(0) + \varphi_{42}(0)[\varphi'_{25}(0) + \varphi'_{51}(0)]] + \\ + \varphi_{15}(0)\varphi'_{51}(0). \quad (2)$$

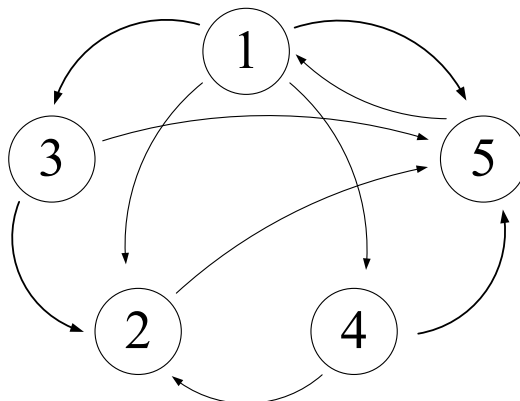


Рис. 2

В данных выражениях  $\varphi_{ij}(0)$  - преобразования по Лапласу при нулевом аргументе соответствующих функций распределения вероятностей перехода из состояния  $i$  в  $j$ :

$$\begin{aligned}\varphi_{12}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{12}(t) = \frac{\alpha[1-g(\lambda)]}{1-g(\lambda)f(\lambda)} = \frac{2\alpha\lambda}{2\lambda+\mu}; \\ \varphi_{13}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{13}(t) = \frac{(1-\alpha)g(\lambda)[1-f(\lambda)]}{1-g(\lambda)f(\lambda)} = \frac{(1-\alpha)\mu}{2\lambda+\mu}; \\ \varphi_{14}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{14}(t) = \frac{(1-\alpha)[1-g(\lambda)]}{1-g(\lambda)f(\lambda)} = \frac{(1-\alpha)2\lambda}{2\lambda+\mu}; \\ \varphi_{15}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{15}(t) = \frac{\alpha g(\lambda)[1-f(\lambda)]}{1-g(\lambda)f(\lambda)} = \frac{\alpha\mu}{2\lambda+\mu}; \\ \varphi_{32}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{32}(t) = \int_0^T dH(t)[1-R(t)] = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} - \frac{1}{T} \frac{\lambda}{(\lambda+\mu)^2} [1-\ell^{-(\lambda+\mu)T}]; \\ \varphi'_{32}(0) &= -\frac{\lambda}{\lambda+\mu} \frac{T}{2} - \frac{\lambda}{(\lambda+\mu)^2} \ell^{-(\lambda+\mu)T} + \frac{1}{T} \frac{\lambda}{(\lambda+\mu)^3} [1-\ell^{-(\lambda+\mu)T}]; \\ \varphi_{35}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{35}(t) = \int_0^T dH(t)R(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{1}{T} \frac{\lambda}{(\lambda+\mu)^2} [1-\ell^{-(\lambda+\mu)T}]; \\ \varphi_{35}(0) &= \int_0^{\infty} d\Phi_{35}(t) = \int_0^T dH(t)R(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{1}{T} \frac{\lambda}{(\lambda+\mu)^2} [1-\ell^{-(\lambda+\mu)T}] \text{ и т.д.}\end{aligned}$$

В работе построены математические модели для кластеров, функционирующих как в режиме одиночного использования резерва, так и в режиме двойного использования. Получены выражения для оценки надежности указанных систем, учитывающие различные параметры контроля. Созданные модели и полученные выражения для одного кластера, позволяют охарактеризовать надежность всей системы в целом.

Как известно в общем случае контакт-центр состоит из  $n$  серверов с работающими на них модулями и шлюза IP-телефонии. Для оценки надежности контакт-центра или его подсистемы, спроектированной с использованием кластерной структуры, следует рассмотреть систему, состоящую из  $n$  кластеров. Для данной системы несложно получить МО времени безотказной работы ( $M[\zeta^n]$ ) и времени восстановления ( $M[\xi^n]$ )

$$M[\zeta^n] = \frac{1}{n\lambda}, \quad M[\xi^n] = \frac{(n-1)!}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(n-i)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i.$$

В данной модели предполагается, что система состоит из элементов с потоком отказов  $\lambda$  и интенсивностью потока восстановлений  $\mu=1/M[\xi]$ , где  $M[\xi]$  - МО времени восстановления одного кластера, которое можно найти с помощью выражения (2). Строго говоря, время восстановления кластера не должно иметь экспоненциального распределения. Делается предположение о том, что его можно заменить экспоненци-

альным распределением с эквивалентным МО. Правомерность данного предположения подтверждается результатами имитационного моделирования.

На рис. 3 приведены характеристики, отражающие зависимость МО времени восстановления системы состоящей из  $n$  резервированных подсистем или кластеров, функционирующих в режиме одиночного использования, и системы, состоящей из  $n$  нерезервированных элементов, от числа компонентов систем  $n$ .

Для каждого отдельного компонента систем вероятность обнаружения отказа аппаратным контролем  $\alpha=0,9$ , интенсивность потока восстановления  $\mu=2 \text{ ч}^{-1}$ , интенсивность потока отказов  $\lambda=0,01 \text{ ч}^{-1}$ , период тестового контроля  $T=0,1 \text{ ч}$ . Время переключения для каждой резервированной подсистемы  $t_{\text{пер}}=0,1 \text{ ч}$ . На данном рисунке последовательность  $f1(n)$  – характеристика МО времени восстановления системы, состоящей из  $n$  резервированных подсистем или кластеров, от числа компонентов. Последовательность  $f2(n)$  характеризует МО времени восстановления системы, состоящей из  $n$  нерезервированных элементов, от числа элементов.

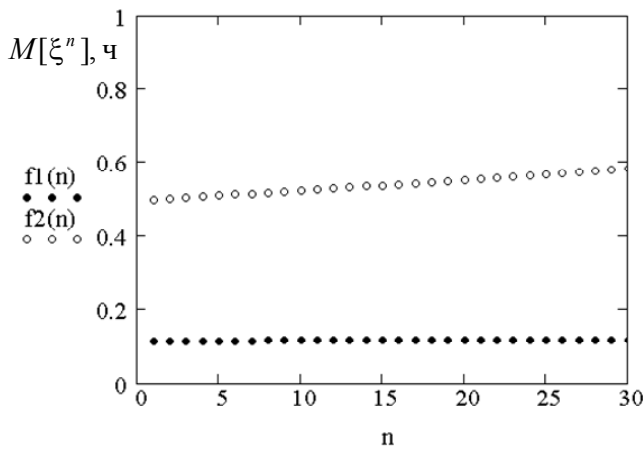


Рис. 3

Как было отмечено, серверы контакт-центра, с работающими на них модулями, можно представить как набор однотипных элементов, и соответственно поставить задачу оценки «канальной» надежности. В таком случае рассматривается система из некоторого числа однотипных рабочих элементов с некоторым числом элементов, предназначенных для скользящего резерва, когда каждый резервный элемент может заменить любой из отказавших элементов.

Большинство модулей ЦОВ, исключая шлюз IP-телефонии, так как он является специальным программно-аппаратным комплексом, могут быть размещены на однотипных серверах с требуемыми техническими характеристиками. Исключения также могут составлять и другие модули, например модуль записи переговоров, так как ему может требоваться большой объем постоянной памяти в зависимости от предъявляемых требований, для хранения аудиоданных с записями переговоров. Подобные модули не являются важными с точки зрения сохранения хотя бы частичной работоспособности контакт-центра, так как все остальные сервисы при отказе данных модулей сохранят свою работоспособность, при правильной организации контакт-центра.

В третьей части второй главы предлагается методика повышения надежности контакт-центров с использованием общего резерва для однотипных компонент, и рассматриваются соответствующие математические модели. На рис. 4 представлен граф состояний системы с полностью ограниченным восстановлением, состоящей из  $n$  рабочих единиц оборудования (серверов) и  $k$  резервных. Общее число элементов системы  $N=n+k$ . Подобная система, будет находиться в состоянии отказа, в том случае если одновременно будут находиться в состоянии отказа  $k+1$  и более компонентов системы. Полностью ограниченное восстановление подразумевает, что при любом числе отказавших элементов в системе может восстанавливаться не более одного из

них. Предполагается, что все компоненты системы имеют одинаковую интенсивность потока отказов  $\lambda$  и восстановлений  $\mu$ .

$H_i$  – соответствует состоянию системы, когда в состоянии отказа находится  $i$  элементов. Пунктиром обведена группа состояний, соответствующих отказу системы.

Для данной системы известны выражения для МО времени наработки на отказ ( $M[\zeta^{n,k}]$ ) и МО времени восстановления ( $M[\xi^{n,k}]$ )

$$M[\zeta^{n,k}] = \frac{(n-1)!}{\lambda} \sum_{i=0}^k \frac{1}{(n+i)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^i, \quad M[\xi^{n,k}] = \frac{(n-1)!}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(n-i)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i.$$

В данной модели для определения интенсивностей потока отказов и восстановлений предполагается использовать соответствующие характеристики одиночного элемента. Построенные модели позволяют учитывать параметры контроля.

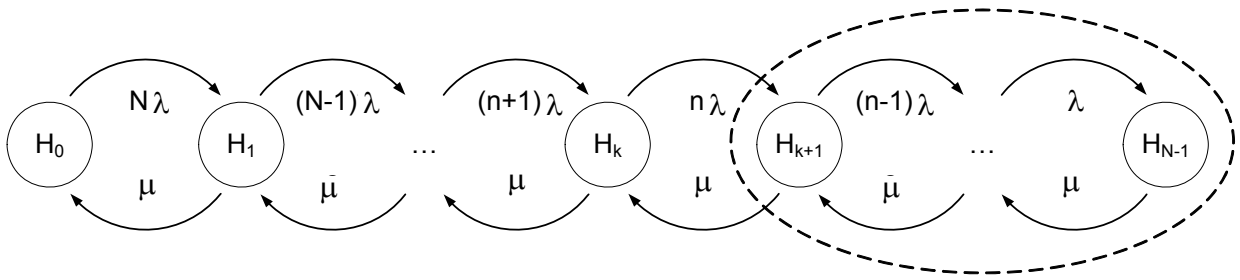


Рис. 4

На рис. 5 приведены характеристики, отражающие зависимость МО времени безотказной работы систем, состоящих из  $n$  активных компонентов, от числа компонентов  $n$ .

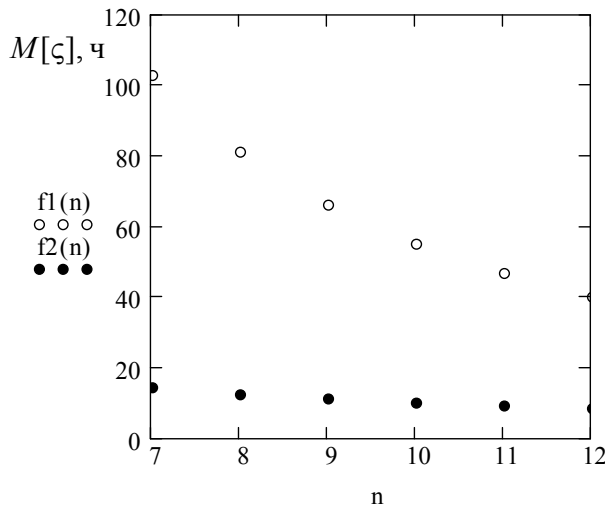


Рис. 5

На данном рисунке последовательность  $f2(n)$  характеризует МО времени безотказной работы нерезервированной системы, состоящей из  $n$  активных элементов. Количество общих резервных элементов системы равно единице ( $k=1$ ) для любых значений числа рабочих элементов ( $n$ ). Последовательность  $f1(n)$  – характеристика МО времени безотказной работы системы состоящей из  $n$  элементов без применения резервирования. Восстановление для обеих систем полностью ограниченное.

Из графика видно, МО времени безотказной работы системы, состоящей из  $n$  активных компонент и одного элемента общего резерва, изменяется. В начале участка его значение достаточно велико, но с ростом  $n$  уменьшается. Это связано в первую очередь с тем, что в системе постоянное число резервных элементов, при малых значениях  $n$  их число относительно велико, а в конце участка уменьшается и становится недостаточным.

Во второй главе разработаны аналитические методы расчета характеристик надежности контакт-центров, которые спроектированы с использованием кластерного подхода, с различными режимами использования резерва, с использованием общего

резерва для однотипного оборудования, а также комбинированных подходов. Данные методы позволяют оценить эффективность системы по критерию надежности, с учетом характеристик контроля. Созданные математические модели, как отдельно, так и в сочетании с другими моделями и методами, нерассмотренными в работе, могут применяться для оценки надежности контакт-центров как на стадии их проектирования, так и для анализа характеристик разработанных систем.

Результаты, полученные во второй главе, используются в инженерной методике проектирования отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, алгоритм которой приводится в четвертой главе работы.

**Третья глава** посвящена исследованию эффективности контакт-центров на базе IP-телефонии по критерию качества функционирования. В настоящий момент имеется достаточно большое число работ (Мандельброта, Бернета и др.), посвященных оценке эффективности контакт-центров по критерию качества функционирования, расчету их вероятностно-временных характеристик с учетом вызовов, использующих ТфОП, IP-телефонию. В данных работах учитываются нетерпеливые пользователи, покидающие очередь до начала обслуживания, и другие особенности связанные с процессом обслуживания вызовов в современных ЦОВ. Также существуют работы (Клейнрока и других авторов), в которых рассматриваются простые модели систем массового обслуживания (СМО), которые можно использовать для быстрой оценки параметров контакт-центров, без учета некоторых особенностей процесса обслуживания вызовов. Однако в данных работах не учитываются возможные отказы оборудования. В данной главе рассматриваются модели, позволяющие оценить качество функционирования контакт-центров с учетом возможных отказов оборудования.

При обращении абонента в контакт-центр возможны различные варианты дальнейшего обслуживания его вызова. Диаграмма соответствующая возможным сценариям обслуживания вызовов приведена на рис. 6. Если вызов пользователя со стороны ТфОП застанет контакт-центр в состоянии, когда все входные линии его учрежденческой АТС или шлюза IP-телефонии заняты, то абонент получит сигнал “занято”. Аналогичная ситуация возможна когда вызов пользователя идет со стороны IP-сети и застаёт систему в состоянии, когда используется вся или почти вся пропускная способность линий связи выхода в Интернет.

После успешного приема вызова в зависимости от загрузки операторов контакт-центра, требуемой услуги и некоторым другим факторам возможны различные варианты дальнейшего обслуживания абонента.

В описанных выше сценариях не отражены возможные отказы оборудования контакт-центра. Наиболее критичными являются те отказы, при которых имеющийся вызов будет потерян, или система вообще не сможет принимать вызовы. Как правило, таковыми являются отказы внутреннего оборудования системы контакт-центра, а не конечное оборудование его операторов. По этой причине отказы оборудования агентов контакт-центра можно не учитывать. Правильно построенная система переведет абонента на оператора с работоспособным оборудованием либо поставит в очередь на ожидание при отказе оборудования агента, обслуживающего пользователя.

При отказе внутреннего оборудования системы контакт-центра могут быть потеряны все принятые системой вызовы, либо их часть. Это могут быть вызовы как находящиеся в очереди на обслуживание, так и обслуживаемые в момент отказа. Если отказала только часть оборудования, отвечающего за определенную функциональ-

ность, то контакт-центр может сохранить свою работоспособность, вероятнее всего с уменьшением производительности. В противном случае система не сможет принимать вызовы до момента восстановления. Оценить влияние отказов оборудования на показатели качества функционирования позволяют соответствующие модели.

Во второй части третьей главы рассматривается модель процесса обслуживания вызовов с учетом возможных отказов оборудования. Полученные модели и выражения позволяют найти требуемые характеристики качества функционирования контакт-центра как СМО с учетом возможных отказов оборудования.

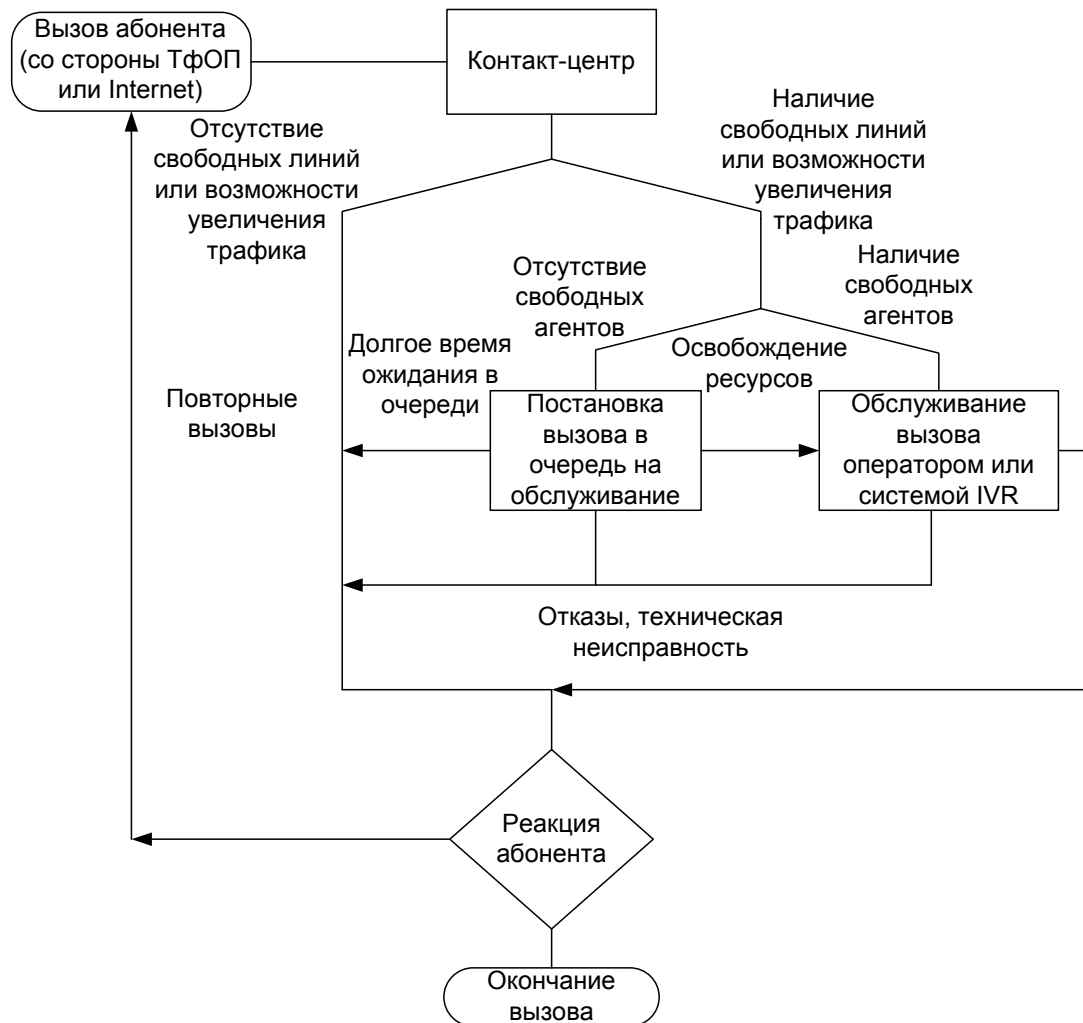


Рис. 6

В третьей части третьей главы рассматриваются различные математические модели процесса функционирования и характеристики контакт-центра как СМО с учетом возможных отказов оборудования. В работе рассматриваются наиболее простые базовые модели контакт-центров, при этом уделяется внимание проблеме учета ПОВ возможных отказов оборудования. В моделях предполагается экспоненциальный характер распределения времени обслуживания голосовых вызовов в контакт-центре, что подтверждено большим числом экспериментальных исследований.

Широкое распространение в программном обеспечении модулей предсказания поведения характеристик контакт-центров получили модели с ограниченными буферами, в том числе модель СМО вида  $M/M/m/k$  с ограниченной очередью. Распространенность данных моделей объясняется их близостью к действительности и

относительной простотой. В данной модели  $m$  – число обслуживающих приборов, а  $k$  – общее число мест в системе. Модель  $M/M/m/k$  близка по своим свойствам к модели  $M/M/m/\infty$ , за исключением ограниченного числа мест для ожидания, при переполнении которого поступающие заявки начинают теряться. Заявки не могут быть потеряны после поступления в очередь.

На рис. 7 приведены характеристики, отражающие зависимость среднего времени ожидания обслуживания от коэффициента использования системы ( $\rho$ ) при интенсивности потока обслуживания для одного оператора  $\mu=40 \text{ ч}^{-1}$ , числе операторов  $m=3$  и неограниченном числе мест в системе.

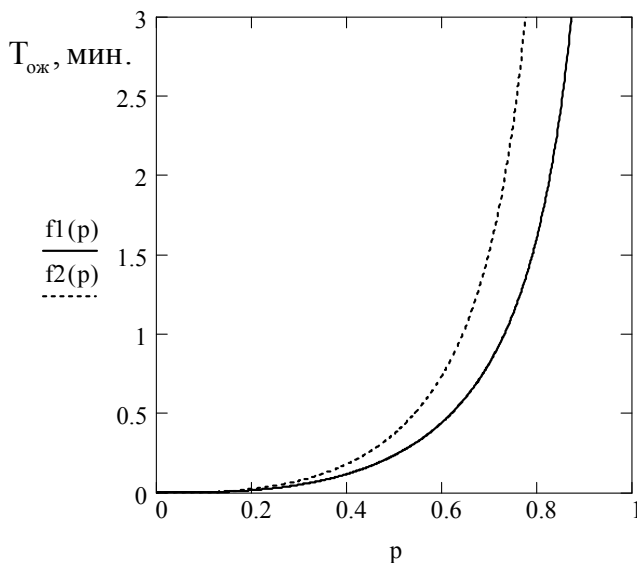


Рис. 7

На данном рисунке кривые  $f_i(\rho)$  – характеристики среднего времени ожидания обслуживания от коэффициента использования системы. Кривая  $f1(\rho)$  построена без учета возможных отказов системы. Кривая  $f2(\rho)$  учитывает возможные отказы оборудования. Для данной кривой вероятность исправного состояния системы  $P_{ис}=0,9$ . Из графика видно, что относительно высокая, но не единичная вероятность исправного состояния системы может оказать достаточно существенное влияние на значение среднего времени ожидания.

Подобные модели не позволяют учесть отдельно число входных линий для ТфОП и пропускную способность канала связи для IP-вызовов. В данной главе также рассматривается модель вида  $M+M/M/m/k+k$ , которая позволяет учесть отдельно число входных линий для ТфОП и пропускную способность канала связи для IP-вызовов. Также учитывает различную интенсивность вызовов со стороны ТфОП и IP-телефонии.

Кроме рассмотренных моделей контакт-центра как СМО существуют и другие, требующие более сложного математического аппарата для их описания. Данные модели выходят за рамки диссертационной работы. Для учета возможных отказов оборудования в данных моделях также можно применять методы, использованные для рассмотренных в работе моделей, возможно, следует выработать специальную методику.

Построенные математические модели контакт-центров с учетом ПОВ, как отдельно, так и в сочетании с другими моделями и методиками, нерассмотренными в диссертационной работе, могут применяться для оценки эффективности контакт-центров по критерию качества функционирования как на стадии их проектирования, так и для анализа характеристик разработанных систем.

Результаты, полученные в третьей главе, используются в инженерной методике проектирования контакт-центров на базе IP-телефонии, алгоритм которой приводится в четвертой главе работы.

**Четвертая глава** содержит инженерную методику проектирования контакт-центров, разработанную на основе результатов предыдущих разделов работы. Рас-

смотрено практическое использование результатов работы и предложенной методики при проектировании и реализации контакт-центра

Приводятся уточнения относительно предлагаемых имитационных моделей. Результаты, полученные с помощью имитационных моделей, подтвердили корректность аналитических моделей и сделанные предположения. Предложенная методика проектирования контакт-центра основана на применении методов повышения отказоустойчивости и расчете параметров надежности и качества функционирования согласно результатам работы. На рис. 8 представлена диаграмма алгоритма разработанной инженерной методики проектирования контакт-центров.

**Приложение** содержит тексты программ имитационного моделирования, выполненные на языке GPSS.

### **Основные результаты работы**

В диссертационной работе решена задача организации отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, обладающих высокими качественными и эксплуатационными показателями. Разработана научная основа архитектурных, структурных, логических принципов создания контакт-центров на базе IP-телефонии. Созданные модели и научную основу принципов организации отказоустойчивых контакт-центров можно использовать при дальнейших исследованиях. В частности можно собирать статистику отказов различных контакт-центров и производить дальнейшие исследования на отказоустойчивость. Также представляет интерес исследование работоспособности контакт-центров при критическом возрастании нагрузки, например, в результате какого-либо чрезвычайного происшествия, затронувшего большое число граждан и т.п.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Исследованы архитектура, принципы построения и организации контакт-центров на базе IP-телефонии. Выявлено, что наиболее критичными с точки зрения отказоустойчивости являются серверы СРВ, модуль IP-телефонии и шлюз IP-телефонии. Показана целесообразность использования и адаптированы для контакт-центров методы, которые следует использовать для повышения надежности контакт-центров на базе IP-телефонии и их подсистем. В число данных методов входят кластерный подход с различными режимами использования резерва, общий резерв для однотипных компонентов (в основном серверов), а также комбинированные подходы.

2. Показана применимость известных математических моделей и методов, а также созданы новые модели и методы для оценки характеристик надежности контакт-центров. Предложенные модели позволяют учесть параметры непрерывного (аппаратного) и/или периодического (программного) контроля, время подключения резерва. Правильность аналитических результатов подтверждена результатами моделирования.

3. Исследованы особенности процесса обслуживания вызовов в контакт-центрах на базе IP-телефонии. Созданы модели и методы, позволяющие оценить характеристики обслуживания вызовов с учетом возможных отказов оборудования. Использование предлагаемых моделей позволяет учесть различную интенсивность поступления в контакт-центр, различное число мест в системе для вызовов приходящих со стороны ТфОП, IP-телефонии и другие особенности обслуживания вызовов в контакт-центрах на базе IP-телефонии.



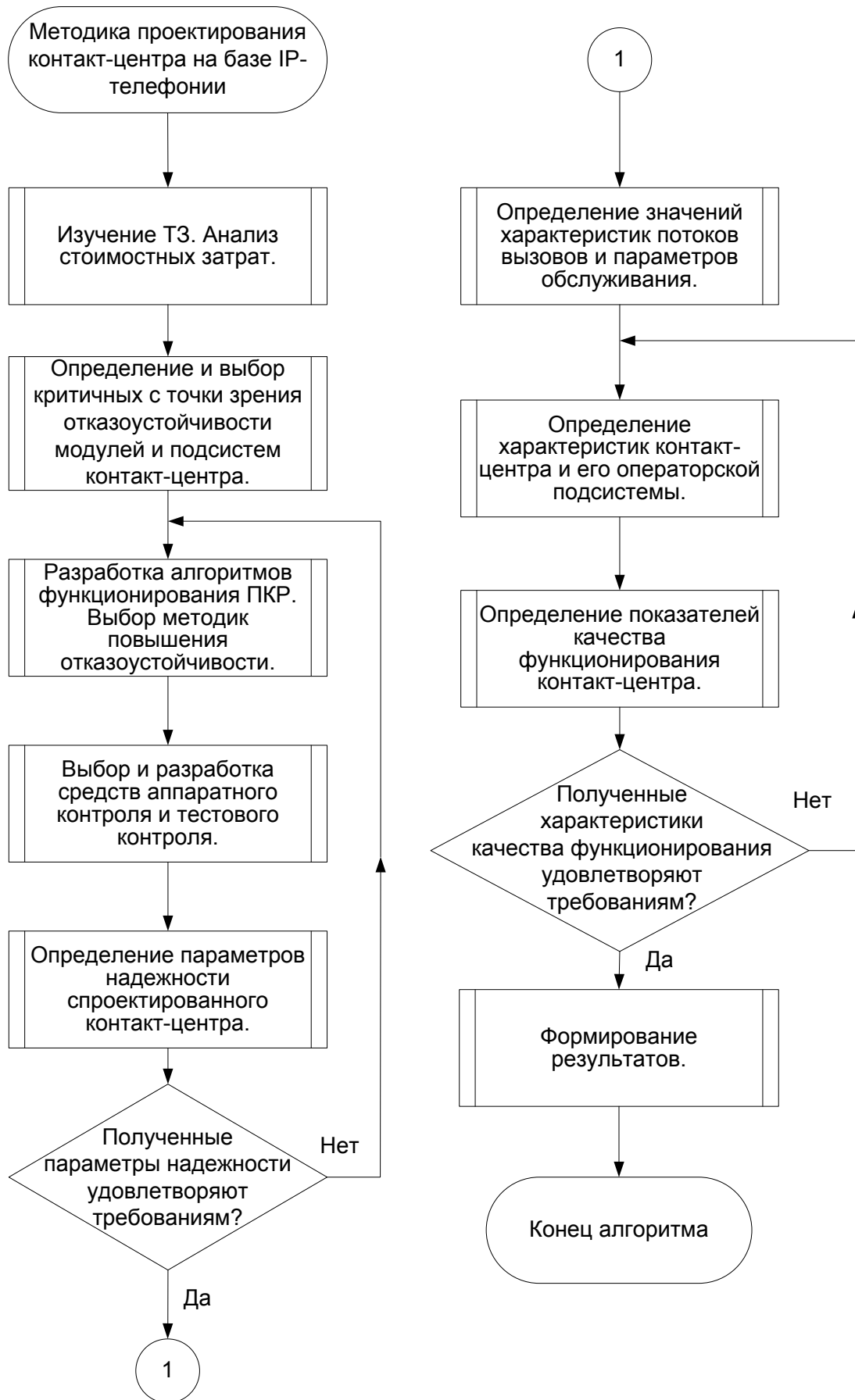


Рис. 8

4. На основе результатов диссертационной работы разработана методика проектирования отказоустойчивых контакт-центров на базе IP-телефонии, удовлетворяющих требуемым параметрам надежности и качества функционирования. Рассмотрено практическое использование предложенной методики и результатов работы при проектировании и реализации контакт-центра.

### **Опубликованные работы по теме диссертации**

#### **в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Малов А.В. Методика повышения надежности контакт-центров на базе IP-телефонии с использованием кластерной структуры [Текст] // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. СПб. 2010. Вып. 1. С. 30-39.
2. Малов А.В. К вопросу эффективности контакт-центров на базе IP-телефонии по критерию качества функционирования с учетом процесса отказов и восстановлений [Текст] // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. СПб. 2010. Вып. 2. С. 37-46.

#### **и в других изданиях**

3. Малов А.В. Контакт-центры на базе IP-телефонии [Текст] // Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ” (Известия Государственного Электротехнического университета). СПб. 2008. Вып. 8. С. 26-32.
4. Малов А.В. Современные IMS услуги и домашние мультимедиа сети [Текст] // Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ” (Известия Государственного Электротехнического университета). СПб. 2008. Вып. 10. С. 21-26.