

На правах рукописи

МАРЧЕНКОВ АРТЕМ ЕВГЕНЬЕВИЧ

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ**

**Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации (технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

МОСКВА 2012



Работа выполнена в открытом акционерном обществе: "Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А.КАРЦЕВА" (Минпромторг РФ).

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Чудинов Станислав Михайлович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Ковшов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и информатика в технических системах» в ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Саксонов Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительные системы и сети» МИЭМ НИУ ВШЭ

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С.Брука»
(Минпромторг РФ)

Защита состоится "24" января 2013 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д217.047.01 во ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный Институт автомобильной электроники и электрооборудования» по адресу: 105187, Россия, Москва, ул. Кирпичная, д. 39/41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный Институт автомобильной электроники и электрооборудования».

Автореферат разослан "24" декабря 2012 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Д217.047.01
доктор технических наук, с.н.с.



Варламов О.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный этап информатизации общества характеризуется широким внедрением многоуровневых мультисервисных систем (МС) с интеграцией инфокоммуникационных услуг в различные сферы деятельности. Это во многом обусловлено тем, что мультисервисные системы интегрированного уровня позволяют обеспечить непосредственную связь с пользователями.

МС является весьма сложным многокомпонентным объектом, который характеризуется разнообразными свойствами, которые требуется учитывать при управлении. В связи с этим цели управления в полном объеме, как правило, труднодостижимы и для разрешения неопределенностей и согласования целей требуется проведение системного анализа процессов управления. При этом МС как объект управления рассматривается в виде совокупности взаимосвязанных компонентов, имеющих цели, входы, выходы, ресурсы, связь с внешней средой и обратную связь. Очевидно, что для каждого региона, где создается и эксплуатируется МС, эта проблема имеет специфические особенности, которые требуют индивидуального подхода. Сюда следует отнести: создание топологии МС, адекватной инфраструктуре региона и, прежде всего распределению потребителей услуг; приоритеты пользователей; пропускную способность и надёжность функционирования мультисервисных систем; принципы и технологии взаимодействия с общим информационным пространством России и некоторые другие аспекты. Степень обоснованности принимаемых решений существенным образом влияет на эффективность управления МС и качество услуг.

При создании эффективной и надежной МС должны согласованно решаться задачи анализа и синтеза. Задача анализа состоит в вычислении количественных показателей эффективности и надежности проектируемой системы с целью определения ее соответствия предъявляемым требованиям. Целью синтеза является обеспечение требуемого уровня эффективности и надежности системы при ее создании и развитии. Отсюда вытекает сложная задача получения аналитических зависимостей показателей эффективности и надежности МС в целом от ее характеристик элементов МС, структуры и алгоритмов функционирования. Наличие таких зависимостей позволит оценивать влияние тех или иных принимаемых решений на качество системы, что в свою очередь позволит создать эффективную и надежную МС с соответствующим уровнем управления.

Задачи управления мультисервисной системой состоят в том, чтобы предоставить оператору возможность поддерживать устойчивые эксплуатационные характеристики системы, осуществлять ее техническое обслуживание и развитие с минимальными затратами, обеспечив при этом требуемый уровень качества обслуживания. Наиболее значимым фактором при решении задач управления является обеспечение аппаратной и функциональной надежности.

Таким образом, проведение системных исследований при построении системы управления региональной МС, позволяющих обеспечить эффективное территориальное управление системой на основе разработки и внедрения методов функциональной надежности, является актуальной задачей.

Целью работы является разработка и обоснование методов построения системы управления мультисервисной системой на основе методов обеспечения функциональной надежности с использованием системного анализа процессов управления.

Для достижения цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Систематизированы структурные аспекты построения МС с учетом информационной модели, описывающей процессы предоставления инфокоммуникационных услуг.
2. Обоснованы и реализованы методы управления МС, как комплексной многоуровневой интегрированной системой, в состав которой входит подсистема управления технологическими процессами (управление элементами сети) и организационная подсистема управления (управление бизнесом).
3. Разработан комплекс математических моделей для расчета и оценки функциональной надежности МС с учётом особенностей сложной топологии МС и развития аппаратной поддержки информационных технологий.
4. Разработаны, обоснованы и реализованы технические решения, направленные на повышение надежности системы управления МС, на основе использования имеющихся в составе МС естественных и дополнительных ресурсов в виде программно-аппаратных средств.

Объектом исследования служат многоуровневые мультисервисные системы с интеграцией инфокоммуникационных услуг на региональном уровне.

Предмет исследования – средства моделирования и формализации процессов управления на основе использования комплекса аппаратно-программных средств МС.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись методы системного анализа, математической логики, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания, теории проектирования сложных систем.

На защиту выносятся следующие результаты выполненных исследований:

1. Информационная модель мультисервисной системы, описывающая информационные процессы, связанные с устойчивостью и эффективностью управления при предоставлении инфокоммуникационных услуг.
2. Структура системы управления мультисервисной системой, позволяющая осуществлять практическое решение задач сбора и обработки информации для управления системой и расчета ее характеристик.
3. Методы и математические модели прогнозирования и повышения надежности функционирования МС и системы управления с учетом особенностей топологии и применения перспективных информационно-коммуникационных технологий.
4. Технические решения разработанных программно-аппаратных средств управления центра мониторинга МС.

Научная новизна диссертации связана с установлением связей и зависимостей между параметрами структуры мультисервисной системы и ее надежностью, позволивших разработать методы и модели оценки ее функциональной надежности, в соответствии с принимаемыми решениями по системе управления МС, включая:

➤ методы и модели оценки и прогнозирования надежности функционирования МС с учётом особенностей топологии МС, аппаратной поддержки и перспективных информационных технологий;

➤ методы и модели повышения и расчета функциональной надежности на основе применения имеющихся в составе МС и системы управления естественных и вновь введенных ресурсов.

Практическая значимость результатов диссертации обусловлена ориентацией на возможность практического применения предложенных моделей, методов и алгоритмов, разработкой правил и рекомендаций для их применения в интегрированных компаниях, позволяющих обеспечить эффективное решение задач управления на основе современных информационных технологий. Результаты диссертационного исследования использованы в практической и методологической работе региональной интегрированной компании ООО «РК-ТЕЛЕКОМ».

Достоверность полученных результатов и выводов обусловлена: корректностью использования методов системного анализа и математических моделей; согласованностью теоретических результатов с основными положениями теории управления и надёжности. Это подтверждается практическими результатами эксплуатации созданной и введенной в эксплуатацию региональной системы.

Реализация и внедрение результатов работы. Основные теоретические результаты и практические рекомендации исследования осуществлены в деятельности интегрированной структуры ООО «РК-ТЕЛЕКОМ».

Специальность, которой соответствует диссертация

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (технические науки) по следующим областям исследования:

п.2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;

п.4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;

п.11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы изложены в ряде печатных публикаций, докладывались на всероссийских и вузовских научных конференциях: «Новые информационные технологии в автоматизированных системах на международном конгрессе по интеллектуальным системам и информационным технологиям. Россия, Геленджик-Дивноморское, 2-9 сентября 2011г., Второй Международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» (БелГУ), Белгород 3-5 октября 2011г., Московской конференции «Национальная суперкомпьютерная технологическая платформа» 27-29 ноября 2012г. Москва, ВДНХ.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 10 публикациях автора, из которых пять статей в рецензируемых научных журналах и изданиях. Общий объем публикаций 4,0 печатных листа, где 2,7 печатных листа, принадлежат лично автору.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем работы 139 страниц. Список литературных источников включает 107 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы диссертации, ее актуальность, определены цель и задачи исследования, научная новизна, структура и объем работы.

В первой главе работы рассматриваются основные задачи системного анализа процессов управления современными телекоммуникационными системами, построенными на принципах сетей следующего поколения, который является необходимым этапом при организации управления и создании автоматизированной системы управления МС с учетом обеспечения заданного уровня функциональной надежности.

Систематизированы особенности создания и определены основные требования к мультисервисным системам с интеграцией услуг, создаваемым и эксплуатируемым в условиях России. Также определены перспективные подходы к предоставлению интегрированных информационных услуг и выбору стратегии реализации этих услуг при создании и развитии интегрированных многоуровневых МС.

В работе рассматривается многоуровневая мультисервисная система регионального оператора как законченный фрагмент единой сети электросвязи России, которая образует единую национальную информационно-телекоммуникационную инфраструктуру (ИТИ) и обеспечивает совместное функционирование с другими системами страны с возможностью вхождения в мировое информационное сообщество. ИТИ региональной структуры поддерживает все виды трафика (данные, речь, видео), позволяя предоставлять инфокоммуникационные услуги в любой точке региона, в любое время, в любом наборе и объеме, с дифференцированным гарантированным качеством и по ценам, удовлетворяющим

различные категории пользователей.

Современная мультисервисная система является сложным объектом управления, характеризуется особенностями, которые требуется учитывать при управлении, поэтому для проведения анализа процессов управления системой используется системный подход, когда МС рассматривается в виде совокупности взаимосвязанных компонентов, имеющих выходы, цели, входы и ресурсы, связь с внешней средой, обратные связи. В соответствии с этим МС, как объект управления, представлена обобщенной моделью, изображенной на рис 1. Где Z – воздействие среды на сеть (наблюдаемый вход), S_c – состояние сети (выход), зависимость между ними определяется выражением $S_c = F(U_c, Z_c)$, где $F(U_c, Z_c)$ - оператор, связывающий вход Z_c (воздействие среды), управление U_c и выход S_c (состояние сети). Модель позволяет оптимизировать информационные процессы управления МС, сформулировать и оценить показатели эффективности управления, определить требования к элементам системы.



Рис.1. Обобщенная модель мультисервисной системы

Проведенный анализ показал, что региональные МС должны обладать следующими свойствами: «мультисервисность» – возможность предоставления услуг максимально широкой номенклатуры при любом заданном качестве; «широкополосность» – возможность гибкого и динамического изменения скорости передачи информации в широком диапазоне в зависимости от текущих потребностей пользователя; «мультимедийность» – способность передавать многокомпонентную информацию (речь, данные, видео, аудио) с синхронизацией этих компонентов в реальном времени и использованием сложных конфигураций соединений; «интеллектуальность» – возможность управления услугой, вызовом и соединением со стороны пользователя или поставщика услуг; «инвариантность доступа» – возможность организации доступа к услугам независимо от используемой технологии; «многооператорность» – возможность участия нескольких операторов в процессе предоставления услуги и разделение их ответственности.

Таким образом, МС обеспечивает передачу наиболее распространенных типов информации и позволяет предоставлять разнообразные услуги связи, в связи с этим, создание МС должно основываться на применении открытых технологий пакетной коммутации. При

этом передаваемая информация должна мультиплексироваться с целью обеспечения максимального использования полосы пропускания. Предлагается применять пакетную коммутацию, что обеспечивает гибкость предоставления очень широкого спектра различных услуг, многие из которых недоступны в среде с коммутацией каналов.

Показано, что модель многоуровневой мультисервисной системы с интеграцией услуг на региональном уровне, основанную на модели открытых систем с использованием технологии пакетной коммутации, можно представить следующими уровнями: транспортный (магистральный) уровень; уровень доступа; уровень управления коммутацией и передачей информации; уровень управления услугами. Рассмотрены возможности построения топологии МС по радиально-узловой и кольцевой схеме.

Надежность функционирования региональной МС находится в прямой зависимости от информационной нагрузки, т.е. от параметров потока заявок поступающих в систему. В работе в качестве информационной нагрузки исследованы механизмы, связанные с реализацией концепции Triple Play. Показано, что для региональной компании, имеющей в регионе волоконно-оптическую сеть связи с кольцевой архитектурой, которая объединяет все районы области и средства широкополосного доступа в мультисервисную систему, имеется принципиальная возможность организовать реализацию концепции Triple Play.

На рис.2 приведен пример реализации Triple Play. В диссертации проведены расчеты, показывающие, что внедрение концепции Triple Play может увеличить доходность телекоммуникационного бизнеса, увеличить удельную доходность ARPU (Average Return Per User) для оператора МС и уменьшить затраты пользователей.

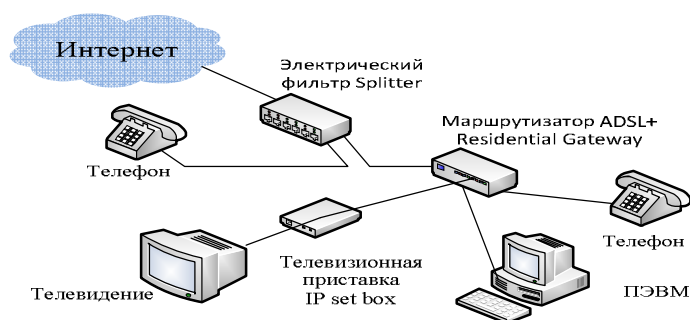


Рис. 2. Схема реализации концепции «Triple Play»

Проанализированы требования к современным МС и показано направление создания универсальной сети путем интеграции существующих сетей (основанных на различных технологиях) на базе единой системы межпротокольной конвергенции и управления сетью. Показано, что реализация указанных решений возможна на сетях нового поколения New

Generation Networks (NGN). Особое внимание уделено требованиям, возникающим при реализации ФЦП «Информационное общество (2011 – 2020 годы)», предполагающей создание в России единой информационной системы, поддерживающей предоставление населению широкой гаммы услуг, обеспечивающих упрощение процедур взаимодействия общества и государства. Отдельное внимание уделено взаимному дополнению сетей NGN и сетей широкополосного доступа, что позволит обеспечить полноценное и экономичное решение задач построения сетей регионального уровня.

Результаты анализа, проведенного в главе 1, позволили определить направления исследований проводимых в диссертации. Основной упор делается на обеспечение высокой надежности функционирования МС и системы управления.

Во второй главе представлены результаты разработки подходов к построению и реализации системы управления МС на региональном уровне. Целью создания системы является организация взаимодействия различных служб (подразделений) оператора регионального уровня. При этом в каждом конкретном случае необходимо учитывать особенности, имеющейся сети связи и ее топологии, поскольку мультисервисная система интегрирована в существующие сети связи. Задача управления МС состоит в том, чтобы поддерживать нормальную эксплуатацию сети, осуществлять ее техническое обслуживание и развитие с минимальными затратами, обеспечивая требуемый уровень качества обслуживания. Наиболее эффективно эту задачу можно решить, основываясь на концепции сети управления электросвязью TMN, которая определяет стратегию по разработке единой системы управления (СУ), предоставляющих различные типы услуг. Одной из целей исследования является уточнение функционального назначения подсистем уровней управления с учетом внедрения методов функциональной и структурной надежности в систему управления. В таблице 1 приведены задачи, решаемые на каждом уровне.

Таблица 1.

Уровни управления TMN	Задачи управления (Функциональные области TMN)				
	Конфигурация сети	Устранение повреждений	Качество сети	Расчеты в сети	Защита информации
Административное управление	х		х	х	х
Управление услугами			х		
Управление сетью связи	х	х	х	х	
Управление элементами сети		х	х		х

На основе вышеизложенного, разработаны технические решения по комплексу системы управления на региональном уровне. В системе управления МС центральное место занимает программно-аппаратный комплекс центра управления и мониторинга (ЦУМ) МС, который обеспечивает анализ качества функционирования сети с учетом множества действующих факторов и на основе учета данных, полученных в процессе эксплуатации сети.

В основу построения центра управления и мониторинга положена концепция обеспечения функциональной надежности сложных мультисервисных систем и управление параметрами сети.

На рис.3 показана функциональная схема центра управления и мониторинга. Центр мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс. Аппаратная часть состоит из следующего оборудования: серверов мониторинга и управления открытой и закрытой частями МС, двух коммутаторов (соответственно для открытой и закрытой частей сети), межсетевое экрана и маршрутизатора. Программная часть центра мониторинга состоит из специальной операционной системы, системы мониторинга, и WEB-интерфейса для отображения информации инженерам круглосуточной дежурной смены. Система мониторинга предназначена для контроля изменений состояний объектов мониторинга. Она состоит из базы данных, модуля опроса, модуля работы с объектами мониторинга и модуля отображения. Объектами мониторинга являются сетевые устройства, а так же отдельные порты на сетевых устройствах.

В соответствии с нормативно-правовым документом «Нормы на показатели качества услуг связи в сетях передачи данных» Минкомсвязи России РД.45.128.2000 в работе определены следующие показатели качества услуг передачи данных: оценка уровня надежности услуги, оценка скорости предоставления доступа к сети, оценка скорости восстановления доступа к сети, оценка качества передачи данных.

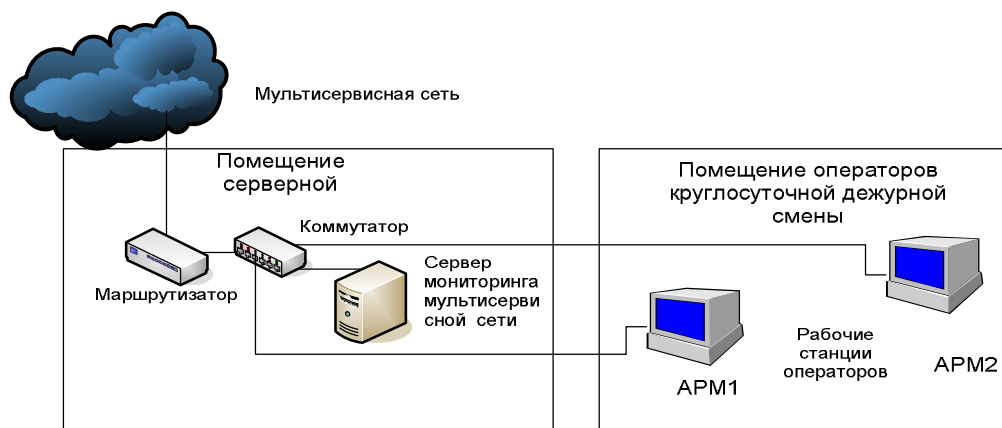


Рис. 3 Центр мониторинга МС регионального оператора.

В системе мониторинга и управления МС присутствуют три подсистемы с разными масштабами времени, которые позволяют анализировать качество функционирования и эксплуатации сети, анализ производится на основании учета апостериорных данных.

В работе приведены системно-технические решения реализации метода управления МС, на рисунке 4 приведена функциональная архитектура построения системы управления и мониторинга на региональном уровне. Указанная модель функционирования системы управления и мониторинга включает в себя модули сбора данных из сети, модули

вычисления параметров функционирования сети и статистических данных. Адаптивные алгоритмы центра организации мониторинга и управления устроены, как рекуррентные процедуры. Выбор адаптивных алгоритмов обосновывается необходимостью быстрого реагирования на изменение условий функционирования МС (возникновение неисправностей, структурной перестройки сети, замена оборудования).

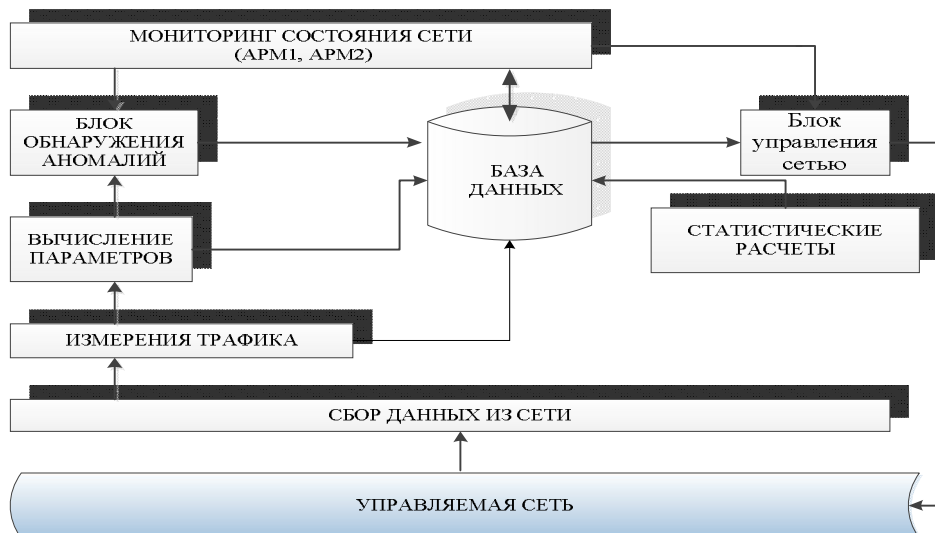


Рис. 4. Функциональная архитектура построения системы управления и мониторинга

Разработан алгоритм мониторинга и управления, включающий следующие основные шаги:

Шаг 1. Сбор данных из сети.

Шаг 2. Измерения трафика.

Шаг 3. Вычисление параметров.

Шаг 4. Формирование базы данных.

Шаг 5. Вычисление параметров загрузки каналов сети.

Шаг 6 Формирование информационной модели на АРМ 1.

Шаг 7. Повторный мониторинг неисправного канала производится с периодичностью 30 секунд. Если параметры не удовлетворяют эталонным значениям, то переход на шаг 1. Если параметры канала удовлетворяют эталонным, то канал переходит в разряд работоспособных за счет использования алгоритмов.

Шаг 8. На основании отображаемой на АРМ 1 информации, оператор принимает решение организации резервных каналов связи.

Шаг 9. Если шаг 8 не обеспечит работоспособность резервного канала, то производится передача информации АРМ 2 и перестройка сети за счет ввода обходного канала.

Шаг 11. Переход на шаг 6.

В работе показано, что в МС центр тяжести обеспечения функциональной надежности находится в области проблем расчета и обеспечения правильности и своевременности

выполнения функциональных задач. Обобщенным критерием функциональной надежности можно считать время активного сохранения работоспособности МС при заданной интенсивности отказов ее элементов. Здесь активная работоспособность это возможность противостоять отказам с помощью системы управления работоспособностью сети, в частности, за счет восстановления структуры и функций сети, управления потоками, информационной нагрузкой.

Третья глава посвящена исследованию методов оценки надежности (отказоустойчивости и восстанавливаемости) МС, с учетом особенностей ее функционирования и выбором эффективной стратегии повышения функциональной надежности.

МС является сложной системой, а это требует многостороннего подхода к рассмотрению проблемы обеспечения надежности ее функционирования. В работе исследуются аппаратная надежность, зависящая от технического состояния аппаратуры и функциональная надежность – свойство выполнения функций, возложенных на МС.

Для анализа отказоустойчивости и восстанавливаемости аппаратурных средств МС могут быть выбраны различные показатели надежности, однако, наиболее приемлемым для МС является коэффициент готовности: $K_{\Gamma} = t_{pe} / (t_{pe} + t_{Be})$, где t_{pe} – суммарное время нахождения в работоспособном состоянии; t_{Be} – суммарное время восстановления. Коэффициент готовности может быть выражен также следующим образом $K_{\Gamma} = T_o / (T_o + T_b)$, где T_o – средняя наработка на отказ; T_b – среднее время восстановления.

Проведен анализ наиболее известных методов расчета надежности сложных систем, к которым относятся и МС. В работе, для точной оценки надежности, предлагается использовать графовый полумарковский метод.

Показано, что графовый полумарковский метод позволяет определить требуемые показатели надежности МС. Суть метода сводится к решению задач расчета показателей безотказности и восстанавливаемости сложных систем, где имеется практическая возможность перехода от описания поведения систем с помощью дифференциальных уравнений к описанию поведения систем с помощью алгебраических уравнений в операторных преобразованиях Лапласа – Стильтеса. Метод позволяет, не прибегая к решению системы уравнений в операторных преобразованиях, установить функции распределения времени любого неработоспособного состояния системы и по этим функциям определить все показатели безотказности исследуемой системы МС.

Для применения метода задаются следующие исходные данные:

– ориентированный граф состояний $G(S, H)$, где S – конечное множество вершин (состояний) системы; H – конечное число дуг между вершинами i, j (состояния S_i, S_j);

– критерий отказа в виде множества работоспособных состояний $S_p \subset S$, множества состояний отказа $\bar{S}_r \subset S$, где $S_r \cap \bar{S}_r = \emptyset$, $S_r \cup \bar{S}_r = S$, а также начальное состояние $0 \equiv S_0$ (или $i \equiv S$), где $S_i \subset S_r$;

– квадратная матрица $(F_{ij}(t))$ условных функций распределения времени пребывания системы в состояниях (вершинах) графа, матрица смежности и вектор распределения начальных вероятностей для эргодических или невозвратных состояний.

Функция распределения времени до отказа системы, поведение которой описывается полумарковским процессом при i -м начальном состоянии, определяется выражением:

$$\tilde{\Phi}_i(S) = \frac{\sum_{j \in \bar{S}_r} \sum_k \tilde{l}_k^{ij}(S) \Delta \tilde{G}_k^j(S)}{\Delta \tilde{G}_{\bar{S}_r}(S)}, \quad \text{где } \tilde{l}_k^{ij}(S) \text{ – } k\text{-й путь, ведущий из работоспособного}$$

состояния графа $i \in S_r$ в отказное состояние $j \in \bar{S}_r$; $\Delta \tilde{G}_k^j(S)$ – вес разложения графа без j -й вершины и вершин графа, расположенных на k -м пути; $\Delta \tilde{G}_{S_r}(S)$ – вес разложения графа без вершин множества состояний отказа. С использованием $\tilde{\Phi}_i(S)$, можно вычислить среднее

время наработки до отказа: $E_c = -\left. \frac{\partial \tilde{\Phi}_{0i}(S)}{\partial S} \right|_{S=0}$; дисперсию времени наработки до отказа:

$$D_c = \left. \frac{\partial^2 \tilde{\Phi}_{0i}(S)}{\partial S^2} \right|_{S=0} - \left[\left. \frac{\partial \tilde{\Phi}_{0i}(S)}{\partial S} \right|_{S=0} \right]^2, \text{ позволяющие проводить практические расчеты.}$$

При расчетах предлагается учитывать суммарные веса одиночных контуров или попарных произведений, не пересекающихся контуров, поскольку их вклад на четыре или более порядка превышает суммарный вклад веса разложения графов, не пересекающихся контуров. Исследования показали, что с погрешностью около 1% можно ограничиться приближенным выражением для расчета весов разложения графов. $\Delta G = \sum_i C_i - \sum_j C_{ij}$.

Четвертая глава работы посвящена методам исследования и оценки функциональной надежности систем управления сложных мультисервисных систем. Для реализации указанного метода требуется комплексное применение гибких стратегий обеспечения функциональной отказоустойчивости МС. Такой эффективной стратегией, по мнению автора, является использование естественной временной, функциональной и структурной избыточности в МС.

В работе показано, что для парирования функциональных отказов целесообразно ввести специальные механизмы рационального использования избыточности. Эти механизмы, совместно с избыточными средствами, образуют средства обеспечения функциональной отказоустойчивости (СОО).

Показателем эффективности СОО является вероятность β успешной адаптации МС с СОО к функциональным отказам: $\beta = \Pr\{\Omega \leq \Omega_g\}$, где Ω - ресурс (структурный, временной и т.д.), который возможно использовать без ухудшения других показателей эффективности МС для защиты от отказов; Ω_g – допустимый расход ресурса, при котором один или несколько показателей эффективности МС достигают предельно допустимого значения.

Так, если ресурс есть время и допустимый расход ресурса есть, допустимое время перерыва в работе МС t_g , то $\beta = \Pr\{V \leq t_g\} = \int_0^{t_g} f_V(t)dt$, где V – интервал времени от момента возникновения неисправности до её устранения и восстановления процесса функционирования, а $f_V(t)$ – функция плотности распределения случайного времени V . Если же допустимое время перерыва в работе системы случайно и распределено по экспоненциальному закону с параметром ρ_g , то $\beta = \varphi_V^*(\rho_g)$, где $\varphi_V(s)$ – преобразование Лапласа функции $f_V(t)$.

Проведена оценка вероятности того, что в процессе выполнения задачи либо не возникнут функциональные отказы, либо возникшие функциональные частичные отказы будут успешно нейтрализованы средствами обеспечения отказоустойчивости на основе допустимых затрат на избыточность ресурсов. Пусть вероятность безотказного выполнения задачи - P_3 , а вероятность того, что внутри СОО в процессе выполнения задачи не возникли функциональные отказы - P_1 . Тогда вероятность безотказного выполнения задачи под прикрытием СОО: $P_{31} = 1 - g_1 - (g_3 - g_3 g_1)(1 - \beta_1)$, где β_1 – вероятность успешной адаптации первого уровня защиты (защиты процесса выполнения задачи без защиты СОО); $g_1 = 1 - p_1, g_3 = 1 - p_3$.

Поскольку $g_1 \leq 1$ и $g_3 \leq 1$, то с погрешностью, не превышающей второго порядка малости, справедливо выражение $P_{31} = 1 - g_1 - g_3(1 - \beta_1)$.

Показано, что между вероятностью успешной адаптации МС к функциональным отказам β_1 и вероятностями g_1, g_3 функциональных отказов СОО и задачи существует прямая связь. Так, если принять $\beta_1 = 1 - \exp(-\delta\xi)$, где $\delta \cong 5, \dots, 10$ – нормировочный коэффициент, а $\xi = g_1 / (g_3 + g_1)$, то с помощью данной зависимости моделируется влияние вероятности отказов и, следовательно, и объема аппаратно-программных средств СОО на эффективность адаптации МС к функциональным отказам.

В работе оценен характер уменьшения вероятности функционального отказа в результате применения защиты. Расчеты показывают, что при сравнительно небольшом

объеме средств защиты ($\frac{g_1}{g_3} \leq 0.5$) эффективность защиты наибольшая (имеется в виду

пропорциональная зависимость между вероятностью отказа в выполнении задачи g_3 или вероятностью отказа в функционировании средств защиты g_1 и объемами задач и средств обеспечения отказоустойчивости соответственно). По мере увеличения объема средств защиты увеличивается вероятность успешной адаптации к функциональным отказам. Однако при этом возрастает вероятность возникновения функциональных отказов в самой СОО. Отсюда следует необходимость решения задачи определения допустимой ненадежности средств защиты МС от функциональных отказов. Определены допустимые границы ненадежности средств защиты (а это означает также допустимые объемы средств защиты) в зависимости от их эффективности и от ненадежности основных средств.

В работе рассмотрена одноуровневая защита. Показано, что она имеет смысл только в том случае, если выполняется условие: $P_{31} > P_3$, которое преобразуется в неравенство: $g_1 < g_3 \beta_1$. Полученное выражение устанавливает, что объем средств обеспечения отказоустойчивости не должен превышать объема аппаратно-программных средств МС, реализующих данную задачу. Из этого выражения также следует, что чем больше объем решаемой задачи, тем более разветвленными и эффективными должны быть средства СОО. Так, если $\beta_1 \rightarrow 1$, то $W_1 \rightarrow W_3$, где W_1 и W_3 – объемы средств обеспечения отказоустойчивости и выполнения задачи соответственно.

Разработан метод решения задачи защиты от функциональных отказов с использованием средств двух уровней защиты. При этом первый уровень защищает средства выполнения задачи и функционирует с вероятностью правильной работы $P_1 = 1 - g_1$, а второй уровень защищает средства первого уровня защиты с вероятностью адаптации к отказам β_2 и функционирует с вероятностью правильной работы $P_2 = 1 - g_2$, при этом сам работает без прикрытия средств защиты. Вероятность правильного выполнения задачи имеет следующий вид: $P_{32} = p_3 p_2 (p_2 + g_1 \beta_2) + (1 - p_3) p_2 (p_1 + g_1 \beta_2)$, $\beta_1 = p_2 (p_1 + g_1 \beta_2) (p_3 + g_3 \beta_1)$.

В качестве обобщения получено, что при n уровнях защиты показатель правильности выполнения задачи определяется выражением: $P_{3n} = (1 - g_n) \prod_{i=0}^{n-1} (p_i + g_i \beta_{i+1})$, ($p_0 = p_3, g_0 = g_3$). Очевидно, что на каждом уровне защиты должно выполняться условие, определенное неравенством: $g_i < g_{i-1} \beta_i$, где $i = \overline{1, n}$. Откуда: $g_i < g_3 \prod_{j=1}^i \beta_j$, где $g_0 = g_3$, определяет границу целесообразности построения многоуровневой защиты.

Таким образом, проведенные исследования позволили показать, что введение в МС

дополнительных аппаратно-программных средств управления и мониторинга, необходимых для создания уровней защиты (диагностики, исправления искажений), приводит к повышению функциональной надежности МС.

Полученные результаты исследования применялись при оценке и прогнозировании надежности МС региональной интегрированной компании.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе системного подхода разработана информационная модель мультисервисной системы, позволившая сформулировать и оценить показатели эффективности управления, определить требования к элементам системы управления мультисервисной системы при предоставлении инфокоммуникационных услуг.

2. Разработана архитектура системы управления МС, учитывающая возможности региональных интегрированных компаний и тенденций востребованности услуг. Выделена задача создания центра мониторинга МС, как составного элемента системы управления. В основу построения центра управления и мониторинга МС положены концепция обеспечения функциональной надежности сложных мультисервисных систем и возможности управления параметрами сети.

3. Разработаны и теоретически обоснованы методы прогнозирования и оценки надежности многоуровневых мультисервисных систем. Установлены граничные условия, определяющие объем дополнительных средств защиты МС от функциональных отказов, при этом коэффициент готовности для такого рода систем имеет величину $K_g=0,998$, что соответствует требованиям руководящего документа Минкомсвязи РФ РД.45.128-2000.

4. Разработан комплекс математических моделей для расчета функциональной надежности МС и системы управления при различных структурных решениях и применяемых информационно-коммуникационных технологиях. Модели дают возможность исследовать время пребывания МС в различных состояниях при заданном графе переходов, определять политику защиты системы управления от отказов.

5. Разработаны технические решения реализации предложенных автором методов управления при проектировании многоуровневой мультисервисной системы регионального уровня. Разработанные проектные предложения построения МС, базовые подходы к проектированию и выбору архитектуры системы управления МС могут быть использованы при создании подобных систем в различных областях народного хозяйства с учетом разнообразных требований и уровней надежности передачи информации.

6. Результаты диссертационного исследования использованы:

➤ в практической и методологической работе региональной интегрированной компанией ООО «РК-ТЕЛЕКОМ»;

➤ в практике работы интегрированной компании «Распределенные интеллектуальные системы и телекоммуникации» (РИСТЕК).

Таким образом, решена комплексная задача построения, анализа и управления для мультисервисных систем регионального уровня при предоставлении гарантированных инфокоммуникационных услуг, на основе методов обеспечения функциональной надежности.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК РФ

1. Марченков А.Е. Возможности прогнозирования эффективности и надежности мультисервисных систем связи // Вопросы радиоэлектроники. – М., 2012. – Выпуск 2, – С.153-161;

2. Марченков А.Е. Системный подход в исследованиях использования моделей для формирования организационных структур интегрированного типа / Волков В.А., Трубицин С.Н., Чудинов С.М. // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Электронная вычислительная техника (ЭВТ)». – М., 2012. – Выпуск 2. – С.189-196;

3. Марченков А.Е. Методы и технологии адаптивной обработки информации центров управления регионального уровня связи / Трубицин С.Н., Чудинов С.М. // Научные ведомости БелГУ. Серия информатика. Белгород: №1 (120), Выпуск 21/1. – 2012. С.190-196;

4. Марченков А.Е. Вероятностная организация систем адаптивного управления мультисервисной системой / Сафонов В.Л., Трубицин С.Н // Научные ведомости БелГУ № 7 (126). Серия ИКТ. – Белгород: – выпуск 22/1, 2012. – С.178-186.

Публикации в сборниках научных трудов

5. Марченков А.Е. Ведомственный центр управления информационной системы (статья) / Полежаев М.О. // «Вестник МАРТИТ» № 1 – М., 2009. – С. 89-92;

6. Марченков А.Е. Методы создания центра мониторинга мультисервисной сети ведомственной информационной системы (статья). / «Вестник МАРТИТ» № 1 – М., 2010. – С.108-116;

7. Марченков А.Е. Перспективы создания многоуровневой модели мультиагентных систем с использованием миварных технологий (доклад). / Волков В.А., Варламов О.О.// Международный конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям. Россия, Черноморское побережье, Геленджик-Дивноморское, 2-9 сентября 2011.– С. 303-308;

Отпечатано в типографии ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный Институт автомобильной электроники и электрооборудования».

Тираж – 100 экз.

Усл.печ.л. 1

Подписано в печать 24 декабря 2012 г.