



НИКИТИН ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОПОРНОЙ СЕТИ
КОРПОРАТИВНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ**

**Специальность 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы и
компьютерные сети**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

- 9 ДЕК 2010

Москва 2010 г.

Работа выполнена на кафедре «Вычислительные системы и сети»
Московского государственного института электроники и математики

Научный руководитель: Саксонов Евгений Александрович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Митрофанов Сергей Александрович
доктор технических наук, профессор

Латышев Андрей Валеевич
кандидат технических наук

Ведущая организация: Рязанский государственный радиотехнический
университет

Защита состоится «21» декабря 2010 г. в 17.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.133.03 при Московском государственном
институте электроники и математики (МИЭМ) по адресу 109028, Москва, Б.
Трехсвятительский пер., дом 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИЭМ.

Автореферат разослан «18» ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Леохин Ю.Л.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение федеральных программ по информатизации требует решения задач, связанных с созданием телекоммуникационной инфраструктуры государственных учреждений и ее основной составляющей – корпоративных сетей, являющихся основой для создания компьютерных сетей различного назначения.

Наиболее распространенными решениями при создании структуры сетевых систем подобного уровня являются решения, связанные с использованием опорных (основных) сетей, поскольку эффективность таких структур неоднократно подтверждалась на практике и доказана теоретически. Однако, использование опорной сети, как базы для создания полноценной телекоммуникационной системы должно основываться на заданных критериях качества и эффективности, которые достаточно разнообразны и во многом зависят от целей создания системы. При этом применение сложившихся «классических» постановок задач построения опорной сети и методов их решения сегодня не может удовлетворить разработчика, поскольку они не учитывают многих новых факторов, появившихся в процессе развития телекоммуникационной инфраструктуры, усложнения прикладных задач и повышения требований к сетям.

Таким образом, особенностью создания любой корпоративной телекоммуникационной сети является необходимость учета большого количества разнообразных факторов, обеспечивающих ее построение и функционирование, что требует разработки и применения новых подходов к постановке и решению задач формирования сети с заданными характеристиками. Особенно это свойственно крупным корпоративным сетям федерального уровня, имеющим значительное число территориально распределенных узлов, использующих услуги нескольких операторов связи и создаваемых для выполнения различных задач при большом количестве условий и ограничений.

В связи с этим представляется целесообразным проведение исследований, направленных на разработку и теоретическое обоснование методов постановки и решения задач формирования и расчета характеристик опорной сети корпоративной телекоммуникационной системы федерального уровня.

Своевременность заданного направления исследований обусловлена также возрастающей потребностью в телекоммуникационных системах, связанной с выполнением различных федеральных программ и необходимостью, в связи с этим, сокращать сроки разработки и повышать качество создаваемых систем, что возможно при наличии достаточно универсальных (типовых) решений.

Таким образом, можно сделать вывод, что тематика диссертационной работы является актуальной, а полученные результаты имеют важное прикладное значение.

В качестве основного объекта для формирования задач, апробации и практического применения результатов диссертации взята информационно-телекоммуникационная система МВД России.

Целью диссертационной работы является постановка и решение задач формирования структуры и расчета характеристик опорной сети, основанных на разработке комплекса математических моделей обеспечивающих учет наиболее значимых факторов влияющих на характеристики сети.

Для достижения поставленной цели были проведены исследования по следующим направлениям:

- анализ проблем формирования опорной сети, связанных с наличием нескольких операторов связи, заданным набором узлов, транзитными потоками данных, обуславливающих необходимость развития традиционной постановки задачи построения сети, как задачи построения минимального покрывающего дерева на исходном графе;

- выбор системы характеристик работы сети и ее узлов;
- анализ работы узлов сети как многосерверных систем;
- создание типовых решений для расчета характеристик опорной сети, учитывающих влияние новых факторов, определяющих специфику формирования сети, работу узлов.

На защиту выносятся следующие результаты, полученные при проведении исследований:

- математическое описание процесса формирования структуры опорной сети, позволившее сформулировать новые постановки задачи построения покрывающего дерева при дополнительных условиях, связанных с загрузкой каналов и узлов сети;

- комплекс математических моделей для расчета и оптимизации характеристик структуры опорной сети, учитывающих возможности потери передаваемых пакетов, вариацию затрат, связанную с наличием нескольких операторов связи;

- комплекс математических моделей для расчета характеристик работы многосерверных узлов сети.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования в диссертационной работе является опорная сеть, создаваемая на основе исходной сети при заданной системе ограничений.

Предметом исследования являются задачи и математические модели, описывающие процесс создания опорной сети и позволяющие проводить расчет характеристик сети и отдельных узлов.

Методы исследования определялись спецификой решаемых задач и поставленными целями. В работе использовались методы теории графов, теории систем, теории вероятностей, теории множеств, проектирования сетей связи, оптимизации, теории множеств и системного анализа.

Научная новизна результатов диссертации определяется оригинальностью объекта исследования и условий его функционирования – опорная сеть корпоративной телекоммуникационной системы при наличии внешних операторов связи, специфических алгоритмов обработки информации на узлах, и заключается в:

- выявлении общих закономерностей и установлении ряда специфических особенностей процесса формирования опорной сети, определивших необходимость новой постановки задачи построения сети, учитывающей необходимость выбора операторов и загрузку узлов;

- разработке комплекса математических моделей для расчета характеристик алгоритмов обработки информации на узлах сети.

Полученные результаты обобщают известные данные в этой области и составляют научную основу диссертационной работы.

Практическая значимость и внедрение результатов диссертации. Использование полученных результатов позволило создать методы формирования структуры корпоративной телекоммуникационной сети адаптированные к конкретным условиям, с учетом специфики объекта информатизации, разнообразия возможных вариантов организации, наличием

нескольких операторов связи, различных категорий пользователей.

В целом, совокупность полученных результатов можно рассматривать как основы типовой методики разработки и расчета характеристик структуры корпоративных базовых сетей.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации обусловлены согласованностью принятых ограничений и допущений при моделировании с реальными данными, строгим математическим обоснованием построенных моделей, согласованностью с имеющимися в печати данными о результатах и методах построения телекоммуникационных систем и, наконец, результатами применения разработанных методов и моделей при формировании сетей различных организаций.

Основания для выполнения работы. Работа является результатом систематизации и обобщения исследований, проведенных автором в период с 1990 года по настоящее время. Основные результаты получены в ходе проведения работ при выполнении следующих постановлений, распоряжений и договоров: Государственный оборонный заказ на 2008 г. Постановление Правительства Российской Федерации от 10.11.2007 № 771-35; Государственный Контракт № 178-2007/84 от 31 июля 2007г. между ГУ НПО «СТиС» МВД России и ИПИ РАН; Техническое задание на ОКР «Разработка и ввод в действие единой информационно-телекоммуникационной системы органов внутренних дел», шифр «Почерк411» (Приложение А к Государственному контракту); Договор № 2206-07(Н) от «03» сентября 2007 г. между Главным исполнителем ОКР - ИПИ РАН и исполнителем СЧ ОКР «ЕСИБ ЕИТКС ОВД» - ЗАО «РНТ»; ЧТЗ на составную часть ОКР ««Разработка и ввод в действие единой информационно - телекоммуникационной системы органов внутренних дел. Функционально-технологическая подсистема организации единой системы информационной безопасности (ФТП ЕСИБ)», шифр «ЕСИБ ЕИТКС» (Приложение 1 к Договору №2206-07(Н)); Договор № 2328-08(Н) от «09» января 2008 г. между Главным исполнителем ОКР - ИПИ РАН и исполнителем СЧ ОКР «ЕСИБ ЕИТКС ОВД» - ЗАО «РНТ»; Дополнение №1 к Частному техническому заданию на СЧ ОКР, шифр «ЕСИБ ЕИТКС»; Специальное техническое задание на Единую систему информационной безопасности контура обработки конфиденциальной информации ЕИТКС ОВД, шифр «ЕСИБ ЕИТКС-К».

Практическое внедрение результатов работы. Результаты,

полученные при выполнении диссертационной работы, были использованы в разработках Специального бюро МВД России, ОАО Газпромбанк, Внешэкономбанка, Компании ТрансТелеКом.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XLVI Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии (Москва, РУДН, 2010 г.); 16-й Международной НТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, РГРТУ, 2010 г.); научно-практической конференции «Суперкомпьютеры: вычислительные и информационные технологии» (Хабаровск, ТОГУ 2010); Научно-практической конференции «Современные информационные компьютерные технологии (mcIT – 2010 г.)» (Беларусь, Гродненский ГУ, 2010 г.); научно-техническом совете ФГУП «НТЦ «Орион».

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации 148 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность и практическая значимость проводимых исследований, приводятся данные об апробации и практическом применении результатов диссертации.

В первой главе исследован класс информационных систем, где наряду с необходимостью обеспечения конкретных и специфических потребностей корпораций в организации сбора, хранения и обработки корпоративной информации, требуется обеспечить информационное обслуживание граждан Российской Федерации, связь с внешними информационными системами других организаций. При этом компоненты и пользователи систем распределены по всему пространству России, что требует привлечения нескольких операторов связи различного уровня, построения специальной телекоммуникационной среды. Подобные системы будем называть корпоративными системами федерального уровня (КСФУ). Показано, что КСФУ ориентированы на обслуживание большого количества удаленных

пользователей, распределенных по территории Российской Федерации. Как правило, владельцами КСФУ являются государственные организации федерального уровня (МВД РФ, ФМС, Сбербанк и т.д.), крупные компании с государственным участием, общественные организации. Пользователями КСФУ являются сотрудники организаций – владельцы, граждане РФ, нуждающиеся в получении информационных услуг.

Потребность в создании и развитии КСФУ возникла в связи с реализацией и развитием ряда федеральных и отраслевых программ. Например, Федеральная целевая программой "Электронная Россия (2002-2010 годы)", программа МВД России по созданию единой информационно-телекоммуникационной системы.

Основными задачами, которые нуждаются в решении для успешного выполнения подобных программ, являются:

- создание корпоративных информационных пространств на основе интеграции созданных и создаваемых локальных информационных систем;
- создание корпоративных телекоммуникационных сетей, обеспечивающих решение задач интеграции и доступа граждан к информационным ресурсам корпоративной системы.

Решение этих задач обеспечит достижение таких целей, как создание единого корпоративного информационного пространства, обеспечение равных возможностей для всех пользователей на получение информации.

Достижение указанных целей в КСФУ имеет свою специфику, связанную с необходимостью выполнения следующих условий и ограничений:

- наличие развитой телекоммуникационной системы, способной обеспечить обслуживание требуемого количества пользователей с заданным качеством;
- использование общедоступных и специализированных каналов связи различных операторов;
- согласованные требования к защите информации;
- территориальное размещение центров хранения информации и потенциальных пользователей;
- взаимодействие с внешними телекоммуникационными и информационными системами;
- финансовые возможности.

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что КСФУ, как правило, имеют иерархическую многоуровневую структуру, где на каждом уровне обслуживается определенный круг пользователей. При этом информационное взаимодействие между уровнями организуется таким образом, чтобы минимизировать потоки данных между уровнями, и тем самым, обеспечить возможность для использования в системе достаточно дешевых каналов связи.

Анализ показал, что КСФУ различного назначения (различных организаций), несмотря на отличия в области решаемых прикладных задач, имеют много общего в архитектурных, организационных и технологических решениях.

Один из основных принципов построения таких систем, это максимально возможная распределенная обработка информации и интеграция на взаимовыгодных условиях. При этом часто используются централизованные (корпоративные) хранилища данных, обеспечивающие доступ широкого круга пользователей (граждан) к информационным ресурсам системы.

В связи с этим телекоммуникационная система КСФУ представляет иерархическую интегрированную информационную сеть, объединяющую федеральные, региональные, муниципальные уровни. Система строится как совокупность территориально распределенных узлов, которые обеспечивают сбор, хранение и обработку информации, подключение и обслуживание пользователей. Система может включать специализированные узлы хранения данных и средства защиты данных на разных уровнях. В зависимости от конкретных особенностей системы предъявляются специальные требования к телекоммуникационной среде, могут использоваться общедоступные каналы связи со средствами защиты.

В связи с необходимостью предоставления пользователям КСФУ широкого спектра разнообразных услуг, системы, в настоящее время, строятся на базе мультисервисных сетей, где обеспечивается возможность передачи различных типов данных.

Исследованы различные подходы к решению указанных задач на примере КСФУ МВД России.

Проведен анализ состояния и перспектив развития единой информационно-телекоммуникационной системы МВД России (ЕИТКС МВД РФ), как корпоративной информационной системы федерального уровня. Исследованы принципы и особенности ее построения.

Целью её внедрения системы является повышение эффективности деятельности органов внутренних дел по защите прав и свобод граждан, обеспечению законности, правопорядка и общественной безопасности путем совершенствования информационного обеспечения органов внутренних дел с использованием современных телекоммуникационных, информационных и биометрических технологий.

Результаты проведенного анализа позволили отнести ЕИТКС МВД России к классу современных корпоративных информационных систем федерального уровня. В связи с этим построение и развитие ЕИТКС должно проводиться в соответствии с принятыми и сложившимися правилами создания КСФУ, но с учетом специфических особенностей ЕИТКС, связанных с требованиями к надежности, безопасности и величине затрат на создание и эксплуатацию системы.

Показано, что основной задачей, решение которой определяет качество ЕИТКС, как КСФУ, является формирование телекоммуникационной системы, обеспечивающей заданное качество обслуживания при ограничениях на затраты, связанные с привлечением операторов связи.

Во второй главе приводятся результаты анализа и обобщения известных данных о построении телекоммуникационных систем федерального уровня на основе опорных сетей.

Обоснована целесообразность применения опорных сетей при создании сложных телекоммуникационных систем большой размерности. Показано, что такой подход позволяет унифицировать транспортную систему, сделать ее достаточно автономной и независимой от предметной области и типа решаемых задач, изменения числа и состава пользователей, привлекаемых операторов связи.

Опорная сеть является ядром телекоммуникационной системы, подверженным наименьшему влиянию при изменении контингента пользователей, набора телекоммуникационных услуг.

В состав опорной сети входят, среда передачи данных в виде линий связи (каналы связи) и коммуникационные узлы.

Каналы связи обеспечивают передачу данных между коммуникационными узлами с учетом заданных требований по скорости передачи, защите и стоимости. Как правило, каналы связи опорной сети для КСФУ, это высокоскоростные магистральные каналы различных операторов, от

выбора которых существенно зависят общие характеристики сети.

Коммуникационные узлы предназначены для соединения каналов связи операторов, обеспечения совместимости передаваемых данных при использовании различных типов каналов связи, подключения аппаратуры пользователей сети, предоставления услуг по хранению, защите и обработке информации в соответствии с установленными требованиями. В общем случае, коммуникационные узлы это сложные технические системы, включающие большое количество коммутационного оборудования, разнообразные серверы и аппаратуру связи.

Определен набор параметров и характеристик опорной сети, которые наиболее часто применяются при разработке анализе сети, оценки эффективности ее работы.

К числу основных параметров относятся: количество коммуникационных узлов; количество пользователей системы и число типов (категорий) пользователей; данные об операторах связи (тарифные ставки, территориальное размещение узлов, типы каналов связи, набор предлагаемых услуг); профиль стандартов сети; структура связей между узлами сети (территориальное размещение узлов, возможность подключения операторов, зоны охвата пользователей); набор дополнительных требований к системе.

К числу основных характеристик относятся: технические характеристики (загрузка каналов связи, загрузка коммуникационных узлов, задержки при передаче данных между узлами сети, задержки при обработке данных на узлах сети); экономические характеристики (затраты на создание сети, затраты на эксплуатацию сети, величина прибыли (дохода) от эксплуатации сети).

Задача формирования структуры опорной сети является достаточно важной, поскольку на сеть ложится основная нагрузка по передаче данных. Структура сети должна формироваться с учетом возможностей операторов, предоставляющих каналы связи для построения опорной сети, требований к размещению узлов, в зависимости от территориального размещения пользователей и формирования групп (кластеров) пользователей.

По результатам проведенного анализа известных данных по созданию опорных сетей, выделены факторы, оказывающие определяющее влияние на формирование структуры сети:

- необходимость привлечения нескольких операторов, поскольку

каналы связи одного оператора не всегда могут соединять все узлы сети;

- необходимость размещения коммуникационных узлов с учетом размещения узлов операторов;
- необходимость учета структуры и специфики работы организации заказчика и пользователей сети.

Кроме того, следует учитывать, что каналы связи опорной сети обладают большой пропускной способностью и, соответственно, высокой стоимостью.

Опорная сеть, как правило, имеет древовидную структуру, обеспечивающую возможность создания новых узлов без изменения сложившейся структуры, гарантирующую полносвязность сети и простоту маршрутизации.

Отметим основные задачи, которые необходимо решить при формировании структуры сети: формирование множества коммуникационных узлов сети, определение параметров сети, расчет характеристик сети при заданном множестве параметров, техническая реализация принятых решений, планирование развития.

Коммуникационные узлы являются важной компонентой опорной сети, определяющей набор предоставляемых услуг, правила подключения пользователей, характеристики сети. Рассмотрены задачи, возникающие при формировании коммуникационных узлов и подходы к их решению.

Определены наиболее значимые задачи коммуникационных узлов.

Коммуникационные узлы в крупных корпоративных опорных сетях, охватывающих большие территории, целесообразно разделять на уровни по зонам обслуживания, обслуживаемым операторам связи и, соответственно, по основным решаемым задачам. Очевидно, что в зависимости от уровня узла связи, определяется набор решаемых им задач и требования к его параметрам и характеристикам.

По результатам анализа сделан вывод, что в общем случае коммуникационные узлы в составе корпоративной телекоммуникационной системы образуют иерархическую систему, предназначенную для решения поставленных задач передачи хранения и обработки данных, обслуживания пользователей телекоммуникационной системы.

Формирование состава узла требует учета следующих параметров: число каналов связи, обслуживаемых узлом; параметры каналов связи,

обслуживаемых узлом (протоколы передачи данных и их параметры, пропускная способность каналов, требования к передаче данных по каналам (наличие потоков с гарантированным качеством обслуживания (QoS), типы потоков данных); параметры коммуникационной аппаратуры; интенсивности потоков данных, поступающих на узел.

Характеристиками коммуникационного узла являются: длительность задержки передаваемых сообщений (пакетов); вероятность потери пакетов (сообщений); загрузка оборудования; длина очереди передаваемых сообщений (пакетов).

Таким образом, выделены задачи, которые требуется решить при создании телекоммуникационного узла: оценка величины задержки при обработке данных, в зависимости от протоколов передачи, параметров оборудования; определение состава и основных параметров оборудования узла по результатам расчетов.

Приводятся основные сведения об ИМТС ЕИТКС МВД РФ.

Показано, что ИМТС строится на базе опорной сети, предназначенной для обеспечения транспортных услуг, для связи между подразделениями МВД РФ, сотрудниками МВД РФ. Опорная сеть ИМТС имеет иерархическую структуру, в соответствии с которой можно выделить пять основных типов узлов: центральный, федеральные, региональные, районные и узлы подразделений.

В данном случае интерес представляет опорная сеть построенная на узлах первых трех уровней, поскольку на этих уровнях состав и структура сети являются устойчивыми на продолжительном интервале времени. Узлы районного уровня и уровня подразделений, предназначенные для подключения пользователей размещаются в подразделениях МВД, которые могут менять свое размещение.

В третьей главе приводятся варианты постановок задач формирования структуры и математические модели, разработанные для расчета характеристик и анализа качества построения и работы опорной сети. Модели адаптированы к особенностям сети, связанным с ее структурой, возможностью использования каналов связи нескольких операторов, структурой узлов и алгоритмами обработки сообщений, поступающих на узлы сети.

Исследуемая сеть имеет иерархическую структуру, с четырьмя уровнями иерархии, что соответствует многим реальным КСФУ.

Введены формальные определения маршрута передачи, транзитного сообщения для узла и канала связи, транзитного потока между узлами.

Маршрут между узлами i и j - $\{i, j\}$ задается вектором $r_{i,j} = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{Nj})$, где $r_{nj} = 1$, если узел n входит в маршрут $\{i, j\}$, и, $r_{nj} = 0$, если узел n не входит в маршрут $\{i, j\}$. Канал связи между узлами i и j обозначается (i, j) .

Параметры потоков данных между узлами сети задаются матрицей $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|, (i, j = 1, 2, \dots, N)$, где $\infty > \lambda_{ij} \geq 0$ - интенсивность потока между узлами i и j . Показано, что если известны все маршрутные векторы, то интенсивность суммарного потока сообщений, поступающих на узел m , можно вычислить по

формуле: $\Lambda_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{mj} \lambda_{ij}$; интенсивность транзитного потока для узла m по

формуле: $\bar{\Lambda}_m = \Lambda_m - \sum_{i=1}^N r_{mm} \lambda_{mi} - \sum_{j=1}^N r_{mj} \lambda_{jm}$; интенсивность потока сообщений, для

которых узел m является приемником, вычисляется по формуле: $\Lambda_{0,m} = \sum_{i=1}^N r_{mi} \lambda_{im}$; интенсивность потока сообщений, для которых узел m является узлом

передатчиком, вычисляется по формуле: $\Lambda_{1,m} = \sum_{i=1}^N r_{mi} \lambda_{mi}, m = 1, 2, \dots, N$.

Для перечисления ребер (каналов связи) маршрута строится матрица индикаторов маршрута $Z_{i,j} = \|z_{ij}(m, n)\|, (m, n = 1, 2, \dots, N)$, где $z_{ij}(m, n) = 1$ или $z_{ij}(m, n) = 0$, если ребро между вершинами (узлами) m и n входит или не входит в маршрут $\{i, j\}$.

Доказано, что если в двух маршрутных векторах $r_{i,j}$ и $r_{m,n}$ имеются смежные узлы с одинаковыми номерами $r_{ij} = r_{km}$ и $r_{vj} = r_{wn}$, то в маршрутах $\{i, j\}$ и $\{m, n\}$ используется один и тот же канал связи $(r_{ij}, r_{vj}) = (r_{km}, r_{wn})$. Для канала (m, n) вычислена величина суммарной интенсивности передаваемых потоков: $\Lambda(m, n) \equiv \Lambda(m, n) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\lambda_{ij}(z_{ij}(m, n) + z_{ij}(n, m)) / 2], (m, n = 1, 2, \dots, N)$.

Величина суммарной интенсивности транзитных потоков, передаваемых по каналу (m, n) : $\bar{\Lambda}(m, n) \equiv \bar{\Lambda}(m, n) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\lambda_{ij}(z_{ij}(m, n) + z_{ij}(n, m)) / 2], m, n = 1, 2, \dots, N$.

При формировании структуры опорной сети, как правило, возникает задача о возможности создания сети на множестве имеющихся в распоряжении

разработчика каналов связи. Данную задачу можно рассматривать как задачу построения графа с заданными свойствами на основе уже имеющегося (исходного) графа. Формально задачу можно представить следующим образом.

Пусть задано множество узлов сети $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ и множество $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_K\}$, где матрица $\Pi_k = \|h_{ij}\|$, ($k=1, 2, \dots, K; i, j=1, 2, \dots, N$) задает каналы связи оператора номер k , так, что $h_{ij} = 1$, если между узлами i и j есть канал связи оператора k , и $h_{ij} = 0$, если между этими узлами нет канала связи оператора k . Эти данные позволяют построить исходный граф сети $G = \{X, \Gamma\}$, в котором множеству узлов сети U соответствует множество вершин графа $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, а множеству имеющихся каналов связи Π множество ребер $\Gamma = \{(x_i, x_j)_k\}$, ($k=1, 2, \dots, K; i, j=1, 2, \dots, N$), где каждой паре (ребру) $(x_i, x_j)_k$ соответствует элемент $h_{ij} = 1$ матрицы Π_k . В общем случае две вершины графа могут быть связаны несколькими ребрами (по числу имеющихся каналов).

Решение задачи построения опорной сети сводится к построению на исходном графе $G = \{X, \Gamma\}$ покрывающего дерева с заданными свойствами, которые определяются целевой функцией и набором ограничений, задаваемых в постановке задачи. Каждому ребру графа и каждой его вершине поставлен в соответствие свой вес. С учетом этих весов задача в «классической» постановке сводится к построению покрывающего дерева с минимальным весом (суммарным весом всех ребер). Однако «классическое» решение предполагает, что веса узлов и ребер являются постоянными величинами, что, как правило, не выполняется на практике. Во многих реальных случаях, задача построения опорной сети осложняется необходимостью стыковки каналов различных провайдеров в узлах сети, возникновением зависимости стоимости узла от подключаемых к нему каналов связи, необходимостью учитывать транзитные потоки и загрузку узлов и каналов связи. Исследовано влияние этих факторов на постановку и решение задачи построения опорной сети.

Ребро, соответствующее каналу связи оператора k между узлами i и j — $(x_i, x_j)_k$, имеет вес $u_k((x_i, x_j)_k) > 0$. Будем считать, что веса ребер графа являются функциями от параметров потоков сообщений, передаваемых по соответствующим каналам связи, и принадлежности канала определенному оператору. Тогда вес ребра между узлами i и j , соответствующего каналу

провайдера k равен: $u_k((x_u, x_v)) = f_{ok}(\Lambda(i, j)) + g_{ok}(\bar{\Lambda}(i, j)) + c_{ok}(i, j)$, ($k=1, 2, \dots, K$; $i, j=1, 2, \dots, N$). Здесь $f_{ok}(\Lambda(i, j))$, $g_{ok}(\bar{\Lambda}(i, j))$ - функции для расчета затрат на передачу единицы трафика (общего и транзитного) по каналу оператора k ; $c_{ok}(i, j)$ - затраты на аренду и эксплуатацию канала оператора k между узлами i и j .

Веса вершин графа (узлов сети) также зависят от параметров, поступающих потоков сообщений и присоединенных каналов операторов. Так, что вес вершины равен: $v_i(\Lambda_i, \bar{\Lambda}_i) = f_{i1}(\Lambda_i) + g_{i1}(\bar{\Lambda}_i) + \sum_{k=1}^K v_{ik}$, ($i = 1, 2, \dots, N$; $k = 1, 2, \dots, K$). Здесь $f_{i1}(\Lambda_i)$ и $g_{i1}(\bar{\Lambda}_i)$ - функции для расчета величины затрат на обслуживание общего и транзитного потоков, поступающих на узел; v_{ik} - затраты на обслуживание канала оператора k подключенного к узлу i .

Вес графа опорной сети: $V(G(X, \Gamma)) = \sum_{i=1}^N v_i(\Lambda_i, \bar{\Lambda}_i) + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N u_k((x_u, x_v))$.

Задача построения опорной сети формулируется следующим образом.

Дано: 1) исходный граф $G(X, \Gamma)$, где множество вершин графа - $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$; множество ребер графа - $\Gamma = \bigcup_{i=1}^K \Gamma_i$, где Γ_i - множество ребер графа, соответствующих каналам связи, принадлежащим оператору номер i .

2) множество функций (весовых коэффициентов) для вычисления весов вершин исходного графа $\{v_i(\cdot), f_{i1}(\Lambda_i), g_{i1}(\bar{\Lambda}_i), (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ix}), \{(a_{ij}, b_{ij})\}, (i=1, 2, \dots, N)$.

3) множество функций (весовых коэффициентов) для вычисления весов ребер исходного графа $\{u(i, j, k, \dots), f_{ok}(\Lambda(i, j)), (\bar{\Lambda}_i(i, j)), c_{ok}(i, j)\}, \{(a_{ok}, b_{ok})\}, (k=1, 2, \dots, K; i, j=1, 2, \dots, N)$.

4) матрицы обязательной принадлежности ребер исходного графа (каналов) к графу опорной сети: $R_{inn}^* = \|r_{inn}^*\|, (m, n=1, 2, \dots, N; i=1, 2, \dots, K)$, где $r_{inn}^* = 1$, если канал оператора i между узлами m и n обязательно включается в состав опорной сети и $r_{inn}^* = 0$, если этот канал не обязательно включается в состав опорной сети.

Найти: $V(R(X, \Gamma^*)) = \min_{(R_1^*, \dots, R_K^*)} \{ \sum_{i=1}^N v_i(\Lambda_i, \bar{\Lambda}_i) + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^K u(i, j, \Lambda(i, j), \bar{\Lambda}(i, j)) \}$, где $(R_1^*, R_2^*, \dots, R_K^*)$ множество матриц принадлежности каналов к сети.

При ограничениях: 1) $R(X, \Gamma^*) \subseteq G(X, \Gamma)$; 2) $\Gamma^* \subseteq \Gamma$; 3) граф $R(X, \Gamma^*)$ является деревом; 4) для всех $(m, n=1, 2, \dots, N; i=1, 2, \dots, K)$ - $r_{inn}^* \geq r_{imn}^*$; 5) для

любых i и j выполняется равенство: $\sum_{k=1}^K r_{kj}^* = 1, (i, j = 1, 2, \dots, N)$.

Данная постановка обобщает известные задачи построения покрывающего дерева при заданных ограничениях.

Показано, что решение задачи может проводиться путем последовательного построения покрывающих деревьев и выбора оптимального дерева по заданному критерию.

Для выполнения сложных процессов обработки информации, поступающей от большого числа источников, узлы опорной сети часто строятся как многосерверные (многомашинные) системы, реализованные в виде кластеров или сетевых систем. При работе таких систем возникает задача управления потоками данных (запросов) поступающих в систему, предусматривающая распределение запросов между серверами, входящими в состав системы.

Для решения задачи исследована система из N серверов (обслуживающих устройств), на вход которой поступает поток запросов (поток сообщений) от M источников. Интенсивность потока от источника номер j - λ_j . Длительность обработки запроса от источника j на сервере номер i случайная величина - $\infty > \beta_{ji} > 0$ с первым и вторым моментами: $\infty > b_{1,ji} > 0$ и $\infty > b_{2,ji} > 0, (i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M)$. Исследован алгоритм управления, где поступающий запрос от источника номер j с вероятностью $1 \geq p_{ji} \geq 0$ направляется на сервер номер i . При этом управление потоком запросов задается стохастической матрицей $\mathbf{P} = \| p_{ji} \|, (j = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, N)$. Определены множества частных (для отдельных потоков и серверов) и интегральных характеристик системы.

В данном случае интенсивности потока запросов, от источника j на сервер i : $\lambda_{ji} = \lambda_j p_{ji}, (j = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, N)$, а интенсивность суммарного потока запросов, поступающих на сервер i : $\lambda_i = \sum_{j=1}^M \lambda_{ji}, (i = 1, 2, \dots, N)$. В качестве модели сервера используется СМО типа $M/G/1/\infty$ с несколькими входящими потоками. Поскольку в систему поступают запросы от различных источников (различных типов), то представляют интерес частные характеристики, связанные с каждым типом запросов. Предложен метод, позволяющий в явном виде получать формулы для расчета частных характеристик, основанный на введении понятия виртуальной длительности обслуживания. Так,

преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения виртуальной длительности обслуживания запроса источника j на сервере i имеет вид:

$$\beta_{ij}^*(s) = \beta_{ij}(s) \prod_{m=1}^M \frac{\lambda_{jm}}{\lambda_{ij} + \lambda_{mi}(1 - \beta_{mi}(s))}, \quad (i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M). \text{ Откуда первый}$$

и второй моменты виртуальной длительности обслуживания запроса равны:

$$b_{1j}^* = \frac{1}{\lambda_{ij}} \sum_{m=1}^M \lambda_{mi} b_{mi}, \quad b_{2j}^* = \frac{1}{\lambda_{ij}} \sum_{m=1}^M b_{2mi} \lambda_{mi} + 2 \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^M \frac{\lambda_{mi} b_{mi} b_{1j}}{\lambda_{ij}} + 2 \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^M \frac{\lambda_{mi}^2 b_{mi}^2}{\lambda_{ij}^2} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq j}}^M \left[\frac{\lambda_{mi} b_{mi}}{\lambda_{ij}} \left(\sum_{\substack{r=1 \\ r \neq m}}^M \frac{\lambda_{ri} b_{ri}}{\lambda_{ij}} \right) \right].$$

Среднее время ожидания в очереди на сервер i запросами источника j :

$$Z_{ij} = \left(\frac{b_{2j}^* \lambda_{ij} p_{ij}}{2(1 - b_{1j}^* \lambda_{ij} p_{ij})} \right), \text{ где } b_{2j}^* = \left. \frac{d^2 \beta_{ij}^*(s)}{ds^2} \right|_{s=0}. \text{ Загрузка сервера } i: \rho_i = b_{1j}^* \lambda_{ij} p_{ij}.$$

Среднее время ожидания в очереди запроса источника j : $Z_j = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_j} Z_{ij}$. Среднее

время ожидания запросов в очереди на сервере i : $W_i = \sum_{j=1}^M \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_i} Z_{ij}$. Средняя длина

очереди запросов на сервер i : $Q_i = \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} Z_{ij}$.

Используя формулы для расчета частных характеристик, можно вычислить величину интегральных характеристик системы, решать задачу оптимизации параметров серверов.

К числу важных характеристик сети относится вероятность потери пакетов. Для расчета этой характеристики обычно используются математические модели узлов сети, которые дают возможность вычислить значение вероятности потери пакета на узле в зависимости от интенсивности поступающего на узел потока и параметров узла. Однако, для пользователя и администратора сети представляют интерес не только частные характеристики узлов, но и интегральные характеристики сети, позволяющие определить вероятности потери пакетов для заданных начальной и конечной точек маршрута передачи. При этом появляется возможность связать вероятности потери с маршрутом передачи пакетов, что важно для управления работой сети в целом.

Разработана модель для расчета интегральных характеристик сети. Модель основана на использовании конечных поглощающих цепей Маркова для вычисления вероятности потери пакета на маршруте.

В четвертой главе приводятся результаты применения разработанных методов и моделей для решения задачи формирования опорной сети ЕИТКС МВД России.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Исследованы особенности построения и эксплуатации корпоративных сетей федерального уровня, позволившие выделить закономерности, свойственные подобным сетям, и принципы их построения, основным из которых является применение опорной сети в качестве ядра телекоммуникационной системы.

2. Разработаны математические модели и постановки задач формирования структуры опорной сети с учетом ограничений, связанных с наличием нескольких операторов связи, зависимостью веса узла от обслуживаемых им каналов связи, и веса ребра от интенсивности, передаваемого по соответствующему каналу связи, потока данных. Такой подход существенно отличается от известных решений и дает возможность решать задачи в условиях, близких к реальным.

3. Разработаны математические модели для расчета характеристик многосерверных узлов опорной сети, позволяющие вычислять величину задержки на узлах для отдельных типов запросов, время передачи между узлами, что дает возможность определять интегральные характеристики сети, оптимизировать параметры узлов.

4. Разработан подход к вычислению вероятности потерь передаваемых сообщений на маршрутах передачи данных между узлами. Модели учитывают суммарную загрузку узлов от различных маршрутов передачи данных. Это позволяет сформулировать требования к вероятностям потерь на отдельных узлах, чтобы обеспечить заданное качество обслуживания.

Результаты работы могут быть полезны разработчикам и администраторам корпоративных сетей при анализе работы и расчете характеристик сетей, выборе параметров оборудования.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Никитин Е.В. Модель расчета вероятности потери пакета в иерархической сетевой структуре // XLVI Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии. Секции математики и информатики – М.: РУДН, 2010. С. 55-56.

2. Никитин Е.В. Вероятность потери пакетов в иерархической сетевой структуре // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Материалы 16-й Международной научно-технической конференции. - Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет, 2010. С. 138 – 140.

3. Никитин Е.В., Саксонов Е.А. Управление потоками данных в многосерверных системах обработки информации // Информатика и системы управления, 3(25), 2010. С. 3 -9.

4. Горшков Г.С., Никитин Е.В., Саксонов Е.А. Задача формирования структуры базовой сети // Вестник ТОГУ, 2(17), 2010. С. 59 – 66.

5. Никитин Е.В., Саксонов Е.А., Шередиц Р.В., Нгуен Нгок Хуэ. Классификация информационных систем // Качество. Инновации. Образование. 6, 2010. С. 64 -70 .

6. Никитин Е.В. Анализ однолинейной СМО с несколькими потоками данных // Современные информационные компьютерные технологии (мсИТ - 2010). 2-я Международная научно-практическая конференция. - Беларусь, Гродно, 2010. С. 63 – 67.

7. Горшков Г.С., Никитин Е.В., Е.А. Саксонов Е.А. Формирование структуры базовой сети // Современные информационные компьютерные технологии (мсИТ - 2010). 2-я Международная научно-практическая конференция. - Беларусь, Гродно, 2010. С. 57 – 62.

8. Никитин Е.В., Саксонов Е.А. Многосерверные системы обработки информации. Управление потоками данных. // Суперкомпьютеры: вычислительные и информационные технологии. Материалы научно-практической конференции. – Хабаровск, ТОГУ, 2010. С. 462 – 469.

Подписано в печать 11.11.2010.
Формат 60×84/16. Бумага типографская № 2. Печать - ризография.
Усл. печ. л. 1,2 Тираж 80 экз. Заказ 1096.

Московский государственный институт электроники и математики
109028, Москва, Б.Трехсвятительский пер., 3.



Центр оперативной полиграфии
(495) 916-88-04, 916-89-25