

ПРОЕКТ

На правах рукописи

**РОСЛЯКОВ
Александр Владимирович**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ АНАЛИЗА
ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ
ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Самара 2008

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

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Карташевский В.Г. (ГОУ ВПО ПГАТИ)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гольдштейн Б.С. (ФГУП ЛОНИИС)

доктор технических наук, профессор
Докучаев В.А. (ГОУ ВПО МТУСИ)

доктор технических наук, профессор
Прохоров С.А. (ГОУ ВПО СГАУ)

Ведущая организация: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет» (ГОУ ВПО ВГУ)

Защита состоится «___» _____ 2008 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д219.003.02 при Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010 г. Самара, ул. Л. Толстого, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан «___» _____ 2008 г.

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

Мишин Д.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Крупные компании и организации для создания единого информационного пространства используют территориально–распределенные корпоративные сети для объединения отдельных сетей филиалов и его удаленных сотрудников с сетью центрального офиса. Традиционный способ построения таких сетей – использование выделенных (чаще всего арендованных у телекоммуникационных операторов) каналов связи для организации связей «локальная сеть – локальная сеть» и телефонных сетей общего пользования для связей удаленных пользователей. Быстрое развитие IP–сетей (и, прежде всего, Интернет) породило новую тенденцию – использование для построения глобальных корпоративных связей более дешевого и более доступного (по сравнению с выделенными каналами) транспорта пакетных сетей.

Однако такое заманчивое и дешевое решение – передача корпоративных данных через публичную сеть – представляет собой очевидную угрозу для безопасности сети любого предприятия, не говоря уж об органах государственной власти и управления. Кроме этого, отказавшись от выделенных каналов с гарантированной пропускной способностью, предприятие вынуждено мириться с непредсказуемым характером производительности каналов связи в Интернет.

Для решения этих проблем может быть использована услуга виртуальных частных сетей VPN (Virtual Private Network). Виртуальная частная сеть строится на основе логических соединений между определенными пользователями сети общего пользования с пакетной коммутацией, изолированных на логическом уровне от других пользователей той же сети. VPN обеспечивает безопасность и секретность, как в традиционной частной сети, при сохранении стоимости передачи информации, как в сети общего пользования. Следовательно, такая услуга будет востребована многими корпоративными пользователями, не имеющими собственных сетевых ресурсов, в том числе органами государственной власти и бюджетными организациями, ввиду ее экономичности и доступности.

Хотя услуги виртуальных частных сетей операторы предоставляют уже достаточно длительный период (начиная с пакетных сетей Frame Relay и ATM), тем не менее, только в связи с активным развитием сетей на базе протокола IP (Internet Protocol) в последнее время наблюдается рост научных исследований технологии VPN. Несмотря на значительную популярность тематики исследования VPN приходится

констатировать, что до сих пор остается множество вопросов и нерешенных задач. Перечислим основные из них:

- фактически отсутствует единая теоретическая база, которая бы служила методологической основой планирования, реализации и эксплуатации VPN;

- имеющиеся теоретические подходы к оптимальному распределению полосы пропускания сетей общего пользования для реализации VPN не учитывают многих особенностей функционирования современных виртуальных сетей;

- отсутствуют эффективные алгоритмы и программные системы, которые позволяют автоматизировать эксплуатационные процессы у провайдеров услуг VPN.

Решение указанных проблем позволит расширить функциональные возможности и область применения различных моделей VPN и, тем самым, повысить эффективность использования сетевой инфраструктуры в целом, что выгодно как потребителям, так и поставщикам услуг VPN. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью дальнейшего совершенствования современных методов оптимизации и инженерного анализа, предназначенных для использования провайдерами услуг VPN.

Актуальность изучения и исследования VPN обусловлена еще и тем, что данная технология является основой для построения в России телекоммуникационной сети для государственных нужд в рамках реализации национальной концепции «электронного правительства», сформулированной в виде Федеральной целевой программы «Электронная Россия (2002–2010 годы)». Одним из практических примеров такого подхода является создаваемая в настоящее время крупнейшая в России VPN «Образование» в рамках реализации одноименного национального проекта.

Объектом исследования являются виртуальные частные сети.

Предметом исследования являются модели и методы оптимального распределения полосы пропускания сети общего пользования для реализации виртуальных частных сетей в соответствии с требованиями пользователей услуг VPN.

Цель работы и задачи исследования. Цель диссертации состоит в разработке элементов теории планирования VPN на базе новых моделей, а также методов анализа, реализующих теоретические результаты в виде алгоритмов и программных пакетов. Данные модели и методы должны обеспечить увеличение эффективности использования ресур-

сов сетей общего пользования, как с точки зрения пользователей, так и провайдеров услуг VPN.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ характерных особенностей практической реализации виртуальных частных сетей, которые необходимо учитывать при разработке теоретической основы планирования VPN;
- сформировать системный подход к построению моделей и разработке методов исследования VPN при различных условиях реализации виртуальных сетей;
- разработать методы анализа и синтеза топологии VPN с учетом различных аспектов практической реализации частной сети (характера трафика, способов резервирования сетевых ресурсов, способов маршрутирования трафика, ограничений на доступную полосу пропускания и др.);
- обосновать базовые принципы построения автоматизированной системы эксплуатационной поддержки OSS (Operations Support System) деятельности провайдера услуг VPN;
- провести экспериментальные исследования моделей и методов планирования VPN с использованием разработанных программных средств и оценить их эффективность;
- разработать методики количественной оценки управленческих решений при предоставлении услуг VPN.

Методы исследования. Для решения перечисленных задач в работе использовались методы теории графов, теории оптимизации, теории телетрафика, теории вероятностей и математической статистики, численные методы расчета и анализа, методы экспертных оценок.

Научная значимость работы. Совокупность полученных результатов можно рассматривать как теоретическое обобщение и решение крупной научной проблемы совершенствования методов анализа и синтеза виртуальных частных сетей, имеющей важное народно-хозяйственное значение в области научных основ построения средств автоматизированного проектирования, разработки и исследования моделей, алгоритмов и методов практической реализации VPN, обеспечивающих оптимальное использование ресурсов сетей общего пользования.

Достоверность и обоснованность обеспечивается опорой на методологию исследования в терминах теории графов, обоснованностью применяемых методик, масштабами экспериментально-опытной ра-

боты, в процессе которой обрабатывались различные предположения о построении и функционировании VPN с учетом различных аспектов их практической реализации и полученных результатов исследований, доказавших правомерность разработанных моделей, методов и алгоритмов, при сопоставлении их с аналогичными результатами, полученными другими исследователями.

Научная новизна.

1. Сформулирован новый методологический подход к планированию виртуальных частных сетей, учитывающий в совокупности интересы потребителей и поставщиков услуг VPN.

2. Впервые задача планирования VPN сформулирована в виде поиска маршрутов передачи трафика виртуальной сети в каналах сети общего пользования с учетом полноты информации о характере и величине трафика конечных точек VPN, способов маршрутирования трафика, ограничений на доступные сетевые ресурсы.

3. Предложено развитие метода анализа зависимости общего дохода сети от изменения резервируемой полосы пропускания при реализации нескольких VPN на базе канальной модели с учетом ограниченных сетевых ресурсов.

4. Разработаны эффективные алгоритмы анализа и синтеза топологии VPN для различных потоковых моделей, обеспечивающие поддержку автоматизированного проектирования и реализации виртуальных сетей на практике при больших значениях параметров сетей.

5. Предложена новая комбинированная модель VPN, основанная на дополнительной информации о матрице трафика, которая дает значительный выигрыш в требуемой полосе пропускания сети общего пользования по сравнению с потоковой моделью.

6. Разработаны экспертные модели, которые позволяют формализовать и унифицировать процедуры оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах виртуальных сетей и принятия решения по выбору наиболее подходящей технологии реализации VPN.

Личный вклад. Все результаты, составляющие содержание данной работы, получены автором самостоятельно. В гл. 5 использованы программные средства, разработанные при непосредственном участии автора и под его научным руководством.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные модели, методы и алгоритмы анализа виртуальных сетей реализованы в виде пакета прикладных программ, использование которого позволило провайдерам услуг VPN повысить эффективность пла-

нирования, администрирования и функционирования виртуальных сетей, автоматизировать процессы эксплуатационной поддержки деятельности провайдера услуг VPN, снизить тарифы на предоставляемые услуги, обеспечить поддержку соглашений о заданном качестве обслуживания пользователей SLA (Service Level Agreement).

Разработанные экспертные модели в виде электронных таблиц позволили получить количественные оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах VPN и принятия решения по выбору технологии реализации VPN в компаниях, имеющих разветвленную (многофилиальную) территориально разнесенную структуру, что повысило лояльность корпоративных клиентов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационных исследований по разработке моделей и методов анализа виртуальных частных сетей использованы в организациях:

1. ОАО «Связьинвест» - при выполнении ряда НИР, целью которых являлась разработка типовых технических решений и методических рекомендаций по реализации услуг VPN;

2. Тульский филиал ОАО «ЦентрТелеком» - при построении современных сетей корпоративных клиентов на базе высокоскоростной информационной транспортной сети;

3. Самарский филиал ОАО «ВолгаТелеком» - при реализации филиалом Политики в области качества услуг виртуальных частных сетей в рамках системы менеджмента качества в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2001;

4. Иркутский филиал ОАО «СибирьТелеком» - для повышения эффективности распределения ресурсов мультисервисной сети при предоставлении услуг VPN корпоративным пользователям;

5. ГОУ ВПО «Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики» - при внедрении в учебный процесс по специальности «Сети связи и системы коммутации» на кафедре автоматической электросвязи и в Самарском региональном телекоммуникационном тренинг-центре – при проведении курсов повышения квалификации работников отрасли связи.

Использование результатов работы подтверждено соответствующими документами, приведенными в приложениях.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на: школе–семинаре «Проблемы и перспективы внедрения мультисервисных сетей на основе современных телекоммуникационных технологий» (Самара, 2002), Ме-

ждународном семинаре «Перспективы развития современных средств и систем телекоммуникаций» (Новосибирск, 2002), 4 международной научно–технической конференции (НТК) «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Уфа, 2003), 6 и 7 Международных конференциях «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA–2004, DSPA–2005) (Москва, 2004), X международной НТК «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC–2004) (Воронеж, 2004), LIX, LX и LXI научных сессиях, посвященных Дню радио (Москва, 2004, 2005, 2006), школе–семинаре «Развитие мультисервисных сетей в МРК ОАО «Связьинвест» (Самара, 2004), 5 Международной конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Самара, 2004), XIV Международном симпозиуме «Современное состояние и перспективы развития инфокоммуникаций» (Самара, 2005), 6 международной выставке – форуме «Инфокоммуникации России – XXI» (Самара, 2006), 7 Международной НТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Самара, 2006), 8 Международной НТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Уфа, 2007), семинаре «Услуги электросвязи. Инновационные решения, тенденции и проблемы» (Москва, 2008), российских НТК профессорско–преподавательского состава ПГАТИ (Самара, 2002–2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 58 печатных работ: 2 монографии, 27 статей в журналах и сборниках трудов (14 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК), 29 тезисов и текстов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Формализованная в терминах теории графов задача планирования виртуальных частных сетей, позволяющая экономить ресурсы сетей общего пользования.

2. Система классификации и условных обозначений моделей VPN, позволяющие систематизировать модели и методы исследования виртуальных частных сетей.

3. Модели и методы расчета характеристик виртуальных частных сетей, учитывающие особенности их практической реализации, в том числе:

- метод решения задачи оптимального распределения сетевых ресурсов при использовании канальной модели VPN,
- методы решения задач анализа и синтеза VPN при использовании потоковых моделей,

– комбинированная модель VPN.

4. Алгоритмические и программные средства анализа и синтеза топологии VPN и расчета необходимой полосы пропускания на отдельных участках сети общего пользования, позволяющие реализовать систему OSS провайдеров услуг VPN.

5. Использование потоковой и комбинированной моделей при практической реализации VPN позволяет добиться значительной экономии ресурсов сетей общего пользования по сравнению с канальной моделью.

6. Применение метода анализа иерархий для количественной оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах виртуальных сетей и принятия решения по выбору наиболее подходящей технологии реализации VPN.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 350 страниц, в том числе 100 рисунков, 32 таблицы, 28 страниц литературы из 288 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснован выбор темы диссертации, ее актуальность, научная новизна, сформулированы цели и задачи исследования.

В **первой главе** проанализировано существующее положение в области практической реализации и теоретических исследований виртуальных частных сетей. Показана перспективность и востребованность услуг VPN. Так по оценке компании Infonetics Research при использовании VPN компания может сэкономить от 20% до 40% средств для связи удаленных локальных сетей и от 60% до 80% при подключении удаленных пользователей. Наблюдаемые за последние годы темпы роста спроса корпоративных клиентов на услуги VPN привели к значительному увеличению числа виртуальных сетей и их масштабов. В этих условиях для провайдеров услуг VPN все острее встает проблема эффективного использования сетевых ресурсов, успешное решение которой позволит не только увеличить доходы провайдеров, но и повысить качество и снизить тарифы на предоставляемые услуги пользователям.

Показано, что в процессе жизненного цикла услуг VPN провайдер должен реализовать ряд технологических задач, указанных на рис. 1. Наиболее важными и сложными при организации эксплуатационной

поддержки услуг VPN являются задачи планирования виртуальных сетей, которые сводятся к оптимальному распределению доступных ресурсов сети общего пользования для выполнения специфических требований на стадии создания VPN.



Рис. 1 – Жизненный цикл услуг VPN

Для автоматизации процессов администрирования и настройки VPN предлагается использовать специальную автоматизированную систему поддержки эксплуатационной деятельности OSS (Operations Support System) провайдеров услуг VPN.

Система VPN-OSS должна поддерживать следующие функции, которые выполняются соответствующими подсистемами (рис. 2):

- хранение данных технического учета и топологии пакетной сети общего пользования и реализованных VPN;
- мониторинг занятой и доступной полосы пропускания и характеристик отдельных звеньев пакетной сети общего пользования;
- хранение, анализ и выдача данных о характеристиках пакетной сети общего пользования и реализованных VPN;
- балансировка загрузки пакетной сети общего пользования с

помощью соответствующего конфигурирования сетевых устройств;

- автоматизация и упрощение задач оптимального планирования и конфигурирования VPN.

В диссертации основное внимание уделено разработке методов реализации подсистемы планирования VPN как наиболее важной и сложной при организации эксплуатационной поддержки услуг VPN.

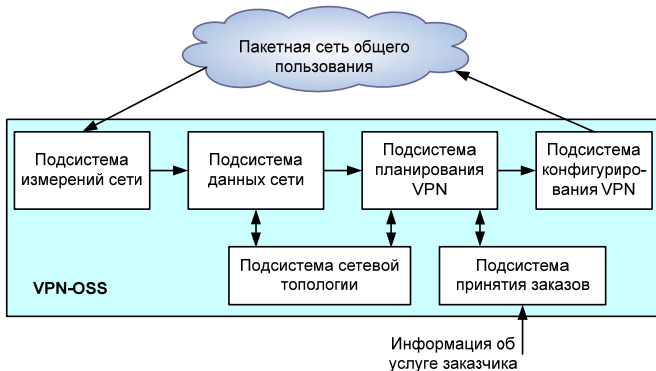


Рис. 2 - Архитектура системы VPN-OSS

Распределение ресурсов сети общего пользования по различным виртуальным сетям может быть реализовано посредством классического подхода эмуляции частных линий от одной конечной точки VPN ко всем другим конечным точкам. Такой подход использует так называемую *канальную модель* (в англоязычной литературе – *pipe model*). Канальная модель VPN подобна услуге арендованной (частной) линии, что требует от пользователя арендовать набор частных виртуальных каналов и запросить соответствующую полосу пропускания в каждом канале на протяжении всего пути между парой конечных точек «источник–получатель» в VPN (рис. 2а).

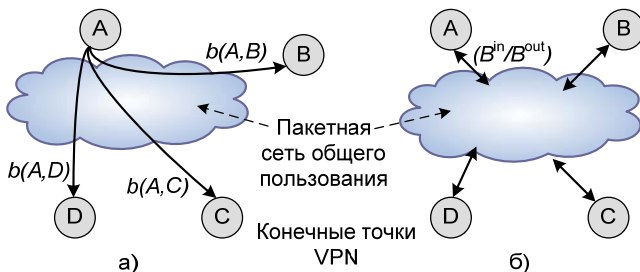


Рис. 2 - Резервируемые полосы пропускания в сети общего пользования при использовании канальной (а) и потоковой (б) моделей VPN

Эта модель исследовалась в ряде работ Mitra D., Morrison J.A., Ramakrishnan K.G., Kelly F.P. и др. Данная модель является наиболее простой и надежной, она гарантирует в любой момент времени наличие доступной полосы пропускания, необходимой для передачи заданного трафика, но ее можно использовать только в случаях, когда заранее известна матрица трафика между всеми конечными точками VPN.

В 1999 году группа исследователей Duffield N.G., Goyal P. и др. предложили использовать так называемую *потокową модель* (в исходном тексте – *hose model*). В противоположность канальной модели в ней не требуется знание полной матрицы трафика виртуальной сети, необходимо только указать суммарный трафик на входе B_i^{in} и выходе B_i^{out} каждой i -ой конечной точки VPN (рис. 26). При этом необходимо так распределить полосу пропускания в сети для пропуска трафика VPN, чтобы для каждой i -ой конечной точки выполнялись соотношения:

$$\sum_{i,j \in P} d_{ij} \leq B_i^{\text{in}} \quad \text{и} \quad \sum_{i,j \in P} d_{ij} \leq B_i^{\text{out}} .$$

где d_{ij} - трафик пары конечных точек (i,j) из множества P

С точки зрения пользователя услуг VPN потоковая модель обеспечивает простоту описания сети, гибкость распределения трафика, выгоду от мультиплексирования нагрузки в потоке. С точки зрения провайдеров услуг VPN потоковая модель также является более привлекательной благодаря возможности поддержки соглашения о заданном качестве услуг SLA с менее жестким описанием трафика сетей.

Потоковая модель VPN наряду с преимуществами имеет и существенное практическое ограничение: невозможно установить специфические требования по трафику от одной конечной точки до другой или группе конечных точек (например, для гарантированной реализации услуг, критичных к полосе пропускания). Для устранения этого недостатка предложена *комбинированная модель*, которая поддерживает групповые требования по резервированию полосы пропускания и обеспечивает в совокупности преимущества канальной и потоковой моделей.

Для систематизации теоретических подходов предложена классификация и система условных обозначений моделей VPN. Любая потоковая модель может быть описана символьной записью, включающей четыре параметра и имеющей общий вид:

A/B/C/D,

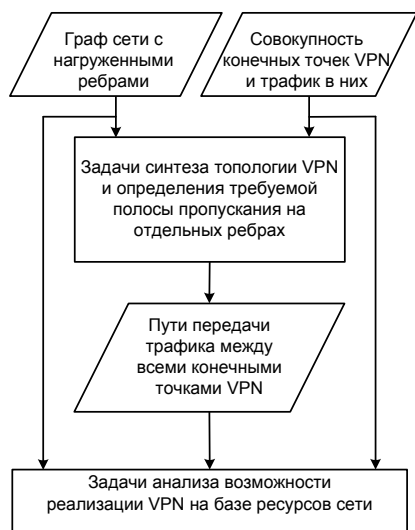
- параметр *A* определяет тип трафика конечных точек VPN (*Sym* – симметричный, ΣSym – суммарно-симметричный, *Asym* – асимметричный);

- параметр *B* определяет вид маршрутирования трафика конечных точек VPN (*T* – древовидное, *NSplit* – однопутевое, *Split* – многопутевое, *G* – маршрутирование общего вида);

- параметр *C* определяет доступную полосу пропускания на участках сети (∞ – неограниченная, *Fix* – ограниченная);

- параметр *D* определяет способ резервирования полосы пропускания на звеньях сети (*Stat* – статический, *Dyn* – динамический).

Общая схема планирования VPN включает два основных вида задач – синтез и анализа (рис. 3).



Задачи синтеза призваны определить оптимальную топологию VPN и требуемые полосы пропускания ребер на основании исходных данных о топологии сети, трафике конечных точек VPN и способах реализации VPN, а решение задач анализа обеспечивает проверку возможности реализации заданной матрицы трафика при выбранной топологии VPN и заданных путях передачи трафика на базе доступных ресурсов сети общего пользования.

Рис. 3. Общая схема планирования VPN

Основное отличие предлагаемого в диссертации подхода к исследованию моделей VPN – это комплексный учет характеристик как самих VPN, так и сетей общего пользования, на базе которых эти виртуальные сети реализуются. Это, прежде всего учет топологии сети общего пользования, информации о распределении трафика конечных точек VPN, возможных алгоритмов маршрутизации трафика, ограничений на сетевые ресурсы, перечня услуг, гарантий качества предоставляемых услуг QoS (Quality of Service) и др.

Во второй главе выполнено исследование канальной модели VPN. Канальная модель является наиболее простой и надежной (хотя и не

самой эффективной с точки зрения резервируемой полосы пропускания). Ее применение целесообразно в тех случаях, когда для VPN известна полностью матрица трафика между всеми конечными точками Y_{VPN} . Целью реализации канальной модели VPN является такое распределение полосы пропускания в каналах инфраструктуры сети общего пользования, чтобы взвешенная групповая мера переданного трафика была максимальной. В качестве такой взвешенной меры предлагается использовать доход, приносимый сетью.

Всего VPN $\bar{\Omega}$, они пронумерованы через индекс Ω . Полосу пропускания, резервируемую на ребре e для VPN Ω , обозначим через $C_e^{(\Omega)}$, тогда суммарная резервируемая полоса пропускания на ребре e равна $\sum_{\Omega=1}^{\bar{\Omega}} C_e^{(\Omega)} = C_e$. Пусть σ обозначает пару конечных точек VPN

«источник–адресат», а (α, σ) – поток вызовов с трафиком типа α между парой σ . Наборы возможных маршрутов в сети общего пользования для потоков вызовов $(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}$ обозначим через $R^{(\Omega)}(\alpha, \sigma)$.

Предположим, что вызовы $(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}$, поступающие по маршруту r , распределены в соответствии с пуассоновским законом со средним значением $\lambda_{\alpha r}^{(\Omega)}$. Тогда вероятность обслуживания вызова $(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}$ равна $p_{\alpha \sigma}^{(\Omega)} \triangleq \frac{1}{\Lambda_{\alpha \sigma}^{(\Omega)}} \sum_{r \in R^{(\Omega)}(\alpha, \sigma)} \lambda_{\alpha r}^{(\Omega)}$ и является параметром управления

доступом трафика в сеть, то есть вызовы $(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}$ поступают в VPN с вероятностью Бернулли $p_{\alpha \sigma}^{(\Omega)}$ и получают отказ с вероятностью $(1 - p_{\alpha \sigma}^{(\Omega)})$. Аналогично, вероятность того, что вызов типа α поступит на маршрут r , равна $\lambda_{\alpha r}^{(\Omega)} / \Lambda_{\alpha \sigma}^{(\Omega)}$, где $\Lambda_{\alpha \sigma}^{(\Omega)}$ – суммарная интенсивность вызовов $(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}$.

Обозначим через $w_{\alpha r}^{(\Omega)}$ доход, полученный при передаче вызова типа α за единицу времени по маршруту r в VPN Ω . Пусть $P_{\alpha r}^{(\Omega)}$ – стационарная вероятность потерь вызова типа α на маршруте r . Тогда средний доход для VPN Ω равен

$$W^{(\Omega)} = \sum_{(\alpha, \sigma)^{(\Omega)}} \sum_{r \in R^{(\Omega)}(\alpha, \sigma)} w_{\alpha r}^{(\Omega)} p_{\alpha r}^{(\Omega)} (1 - P_{\alpha r}^{(\Omega)}).$$

Общий доход всей сети определяется выражением:

$$W = \sum_{\Omega=1}^{\bar{\Omega}} W^{(\Omega)}.$$

С учетом указанных условий задачу оптимального распределения ресурсов сети общего пользования, в которой реализованы Ω виртуальных частных сетей, можно записать следующим образом:

определить
$$\left\{ C_e^{(\Omega)} \right\}, \left\{ \rho_{\alpha r}^{(\Omega)} \right\}^{Max} W$$

при следующих ограничениях:

$$W^{(\Omega)} \geq W_{\min}^{(\Omega)} \quad \forall \Omega, \quad \sum_{r \in R^{(\Omega)}(\alpha, \sigma)} \rho_{\alpha r}^{(\Omega)} \leq \bar{\rho}_{\alpha \sigma}^{(\Omega)} \quad \forall (\alpha, \sigma)^{(\Omega)}, \quad \forall \Omega,$$

$$\rho_{\alpha r}^{(\Omega)} \geq 0, \quad \sum_{\Omega=1}^{\bar{\Omega}} C_e^{(\Omega)} = C_e \quad \forall e, \quad C_e^{(\Omega)} \geq 0 \quad \forall \Omega, \quad \forall e.$$

Решение данной задачи заключается в совместном решении двух задач:

- 1) оптимальной маршрутизации в сети трафика каждой VPN (построение топологии VPN);
- 2) оптимального распределения пропускной способности звеньев сети общего пользования по всем реализованным VPN.

Задача оптимальной маршрутизации трафика VPN при использовании канальной модели является классической задачей поиска кратчайшего маршрута в графе между заданными узлами. Для ее решения могут быть использованы различные алгоритмы, например Дейкстра, Беллмана–Форда, Флойда–Уоршелла и др.

Предложен метод оптимального распределения ресурсов сети общего пользования для VPN на базе канальной модели, основанный на определении вероятности потерь в отдельном звене сети с помощью рекурсии Кауфмана–Робертса или приближенных методов (при больших значениях величин полосы пропускания звеньев сети и передаваемого в них трафика).

Полное уравнение для потерь в VPN имеет вид:

$$P_{\alpha e} = \phi_{\alpha e}(y_e), \quad (\alpha = 1, 2, \dots, A; e = 1, 2, \dots, E), \tag{1}$$

$$y = \psi(\mathbf{P}), \quad y = \{y_e\}, \quad \mathbf{P} = \{P_{\alpha e}\}.$$

где $P_{\alpha e}$ - вероятность потерь трафика класса α в ребре e ;

y_e – суммарная нагрузка всех типов, поступающая на ребро e .

Решая уравнение (1) численным методом последовательными итерациями найдем вероятности потерь на отдельных ребрах графа сети,

а по ним - вероятность потерь $P_{\alpha r}$ трафика типа α на маршруте r :

$$P_{\alpha r} = 1 - \prod_{e \in r} (1 - P_{\alpha e}); \quad r \in R(\alpha, \sigma) .$$

Разработан итерационный метод определения оптимальной полосы пропускания для реализации нескольких VPN на базе канальной модели, в котором на каждой итерации выполняется перераспределение полосы пропускания каждого звена сети общего пользования для разных VPN с учетом линейаризации общего дохода сети и линейаризованных удельных стоимостей полосы пропускания.

Используется понятие потерь доходов $\{q_{\alpha e}\}$ из-за наличия потерь вызовов трафика типа α в ребре e сети. Получена зависимость скорости изменения дохода от изменения поступающей нагрузки:

$$\frac{\partial W}{\partial P_{\alpha r}} = (1 - P_{\alpha r}) \left(w_{\alpha r} - \sum_{e \in r} q_{\alpha e} \right) .$$

Для VPN Ω линейаризованная экстраполяция дохода:

$$W^{(\Omega)} \left(C^{(\Omega)} - v^{(\Omega)} \right) - W^{(\Omega)} \left(C^{(\Omega)} \right) \approx - \sum_{e=1}^E w_e^{(\Omega)} v_e^{(\Omega)} ,$$

где $w_e^{(\Omega)}$, $e=1,2,\dots,E$ - линейаризованные удельные стоимости пропускной способности;

$v_e^{(\Omega)}$ - возможные целочисленные значения изменений полосы пропускания на ребре e .

Задачу линейаризации оптимального распределения пропускной способности можно сформулировать как задачу линейного программирования (ЛП):

$$\text{найти} \quad \min \quad \sum_{\Omega=1}^{\bar{\Omega}} \sum_{e=1}^E w_e^{(\Omega)} v_e^{(\Omega)} , \quad \text{при} \quad \text{ограничениях}$$

$$\left\{ v_e^{(\Omega)} \right\} : \sum_{e=1}^E w_e^{(\Omega)} v_e^{(\Omega)} \leq H^{(\Omega)} , \quad \forall \Omega, \quad \sum_{\Omega} v_e^{(\Omega)} = 0, \quad \forall e,$$

$$H^{(\Omega)} \triangleq W^{(\Omega)} \left(C^{(\Omega)} \right) - W_{\min}^{(\Omega)} , \quad \bar{v}_e^{(\Omega)} \leq v_e^{(\Omega)} \leq \bar{\bar{v}}_e^{(\Omega)} , \quad \forall e, \forall \Omega.$$

Нижняя и верхняя граница изменений полосы пропускания:

$$\bar{\bar{v}}_e^{(\Omega)} = \left[\min \left(C_e^{(\Omega)} , \psi \sqrt{C_e^{(\Omega)}} \right) \right] , \quad \bar{v}_e^{(\Omega)} = \left[\max \left(C_e^{(\Omega)} - C_e , -\psi \sqrt{C_e^{(\Omega)}} \right) \right] , \quad \text{где}$$

константа $\psi \approx 0,5$.

Как показали исследования на конкретных примерах сетей, исполь-

зование разработанного алгоритма реализации канальной модели VPN дает в среднем по всей сети увеличение дохода на 5-10% и уменьшение вероятности потерь более чем в два раза.

В третьей главе проведено исследование различных потоковых и комбинированных моделей VPN при наличии достаточных ресурсов в сети общего пользования.

В самом общем случае задачу оптимального планирования VPN на базе потоковой модели в терминах теории графов можно сформулировать следующим образом.

Заданы:

- граф сети G с набором вершин V и ребер E , доступной полосой пропускания L_{uv} и удельной стоимостью полосы пропускания S_{uv} для каждого ребра $(u, v) \in E$;

- для каждой конечной точки VPN $i \in P$ пара максимальных значений трафика на входе и выходе B_i^{in} и $B_i^{\text{out}} \in \mathbf{Z}_+$.

Найти:

- величину резервируемой полосы пропускания C_{uv} для каждого ребра (u, v) с суммарной минимальной стоимостью реализации VPN S_{VPN} ;

- маршрут R_{ij} для передачи трафика между i и j конечными точками VPN.

Расчет потоковых моделей VPN включает два вида задач. Задачи синтеза призваны определить топологию VPN с минимальной полосой пропускания ребер на основании исходных данных о топологии сети, трафике конечных точек VPN и способах реализации VPN. Решение задач анализа обеспечивает проверку возможности реализации заданной матрицы трафика при выбранной топологии VPN и заданных путях передачи трафика на базе доступных ресурсов сети общего пользования.

Показано, что для решения задачи синтеза древовидной топологии VPN неэффективно использование дерева Штейнера. Разработан эффективный алгоритм для модели с симметричным трафиком $Sym/T/\infty/Stat$. Расчет необходимой полосы пропускания на каждом ребре (i, j) дерева T выполняется по формуле:

$$C_T(i, j) = \min \left\{ B \left(P_i^{(i, j)} \right), B \left(P_j^{(i, j)} \right) \right\},$$

где $P_i^{(i, j)}$ и $P_j^{(i, j)}$ – совокупности конечных точек VPN, входящих

в компоненты дерева T при удалении ребра (i, j) ;

$B(P)$ – суммарная полоса пропускания компоненты P .

Суммарная полоса пропускания для реализации дерева T на базе корневой вершины v определяется выражением:

$$Q(T, v) = 2 \sum_{l \in P} B_l d_T(v, l),$$

где $d_T(v, l)$ - длина пути из вершины v в вершину l в дереве T .

Рассмотрена также асимметричная модель VPN $ASym/T/\infty/Stat$, для которой справедливы следующие выражения для полосы пропускания ребра (i, j) дерева T :

$$C_T(i, j) = \min\{\sum_{v \in P_i^{(i, j)}} B_v^{out}, \sum_{v \in P_j^{(i, j)}} B_v^{in}\},$$

$$C_T(j, i) = \min\{\sum_{v \in P_i^{(i, j)}} B_v^{in}, \sum_{v \in P_j^{(i, j)}} B_v^{out}\}.$$

Показано, что определение оптимального дерева VPN при асимметричной нагрузке является NP-трудной задачей. Для ее решения проанализированы имеющие аппроксимационные алгоритмы, предложен более эффективный двухшаговый алгоритм покрывающего дерева (ДАПД).

На первом шаге алгоритма ДАПД в граничной сети выполняется поиск общего покрывающего дерева с минимальной резервируемой полосой пропускания, соединяющего все конечные точки VPN без использования промежуточных вершин между ними. Результат выполнения этого шага алгоритма не зависит от топологии сети общего пользования, а зависит только от величин входящего и исходящего трафика конечных точек VPN. Алгоритм построения оптимального покрывающего дерева основан на модифицированном алгоритме Шиоура (Shioura), известного как лучший алгоритм с точки зрения времени выполнения для расчета всех покрывающих деревьев графа.

По результатам первого шага на втором шаге алгоритма ДАПД конечные точки VPN соединяются между собой с использованием промежуточных вершин графа сети общего пользования. Для нахождения кратчайшего пути применяется алгоритм Дijkstra.

Алгоритм ДАПД имеет временную сложность $O(P^4 + PE + VP \log V)$, что значительно меньше временной сложности прямодвойственного алгоритма $O(V(EP^2 + EVP + V^2 \log V))$.

Для предложенной комбинированной модели VPN введено понятие группы связности $\pi^P \subseteq P - \{p\}$, под которой понимается такой набор конечных точек p из совокупности конечных точек VPN P , которые

имеют входящий и/или исходящий трафик между собой. Каждая конечная точка $p \in P$ может иметь n групп связности, где $(1 \leq n \leq |P|)$. Очевидно, что все группы связности являются несвязными и дополняющими, то есть $\bigcap_{i=1, \dots, n} \pi_i^p = \emptyset$ и $\bigcup_{i=1, \dots, n} \pi_i^p = P - \{p\}$. Введен также коэффициент связности $Q_p^{\pi_i}(\alpha)$, определяющей трафик конечной точки p к группе связности π_i^p в соответствии с параметром трафика $\alpha \in \{B^{in}, B^{out}\}$.

Доказано что, полоса пропускания, рассчитанная при использовании комбинированной модели VPN с древовидной топологией, всегда меньше или равна полосе пропускания в потоковой модели с той же топологией. Показано также, что потоковая модель VPN является частным случаем комбинированной модели.

В главе рассмотрена также потоковая модель VPN с многопутевым маршрутированием трафика *ASym/Split/ ∞ /Stat*. Дополнительный параметр модели – коэффициент разделения трафика $0 < h(u, v, e) \leq 1$, показывающий долю трафика, передаваемого из конечной точки u в конечную точку v через ребро e .

Задача нахождения оптимального значения резервируемой полосы пропускания C_e на ребре e в модели *ASym/Split/ ∞ /Stat* сформулирована как задача ЛП. Решение задачи ЛП позволяет определить значения резервируемой полосы пропускания C_e на ребрах e и коэффициенты разделения трафика в них $h(u, v, e)$. Для определения необходимой полосы пропускания в путях R_{uv} разработан алгоритм, использующий процедуры разделения путей и метод поиска в ширину.

Показано, что решение задачи синтеза топологии VPN при однопутевом маршрутировании трафика (модель *ASym/NSplit/ ∞ /Stat*) может быть выполнено с использованием методики, разработанной для случая многопутевого маршрутирования. В этом случае при наличии трафика между конечными точками u и v , проходящего через ребро e , коэффициент разделения трафика $h_{uv,e} = 1$, а при его отсутствии – $h_{uv,e} = 0$.

В четвертой главе проведено исследование моделей VPN при ограниченных сетевых ресурсах. В качестве критерия для сравнения различных моделей использован коэффициент отклонения запросов на реализацию VPN:

$\Delta = Z_o / Z$, где Z_o - число отклоненных запросов на реализацию VPN; Z - общее число полученных запросов.

Алгоритм проверки наличия необходимой полосы пропускания на ребре $e \in E(T)$ дерева T для передачи трафика VPN основан на проверке соотношения

$$C_T(e) \geq \min \left\{ \sum_{i \in P \cap P_i^{(i,j)}} B_i^{\text{in}}, \sum_{i \in P \cap P_j^{(i,j)}} B_i^{\text{out}} \right\} +$$

$$\min \left\{ \sum_{j \in P \cap P_i^{(i,j)}} B_j^{\text{out}}, \sum_{i \in P \cap P_j^{(i,j)}} B_j^{\text{in}} \right\}$$

Разработан модифицированный алгоритм для потоковой модели (МАПМ) VPN, учитывающий одновременно два фактора: эффективность распределения полосы пропускания в сети для каждого запроса VPN и механизм балансировки нагрузки в сети с учетом свободной полосы пропускания.

Показатели использования полосы пропускания для дерева VPN T в основном и модифицированном алгоритмах:

$$C(T) = \sum_{x=1}^{E(T)} C(e_x), C_M(T) = \sum_{x=1}^{E(T)} \frac{C(e_x)}{D(e_x)},$$

где $C(e_x)$ – требуемая полоса пропускания на ребре e_x ;

$L(e_x)$ – доступная полоса пропускания;

$D(e_x) = L(e_x) - C(e_x)$ – свободная полоса пропускания.

Пусть сеть описывается графом $G(V, E)$, имеющим n вершин и m ребер. Для обработки i -го запроса на реализацию VPN z_i в МАПМ выполняется n - итераций, по одной итерации для каждой вершины $v \in N$. На каждом шаге алгоритма сначала находится для запроса z_i дерево-кандидат $T_p(v)$ с корнем в вершине v и затем определяется величина полосы пропускания, необходимая для распределения на каждом ребре e_x в найденном дереве. Далее вычисляется суммарная резервируемая полоса пропускания для всего дерева $T_p(v)$. Если после рассмотрения всех деревьев $T_p(v)$ ($v \in V$) не существует какого-либо дерева, в котором все ребра имеют достаточную свободную полосу пропускания для распределения, то запрос z_i отклоняется. В случае принятия запроса z_i , определяется дерево VPN с минимальной резервируемой полосой пропускания $T_{\min}(v)$ среди всех деревьев $T_p(v)$. Далее выполняется расчет оставшейся свободной полосы пропускания

на каждом ребре e_x дерева $T_{\min}(v)$, на основе которой будет проводиться реализация следующего $(i+1)$ запроса на VPN. Таким образом общая сложность алгоритма МАПМ при обработке запроса на реализацию VPN составляет $O(nm)$, что указывает на относительно небольшие вычислительные затраты для крупных сетей. Определены граничные значения коэффициентов отклонения в различных моделях реализации VPN (рис. 3).

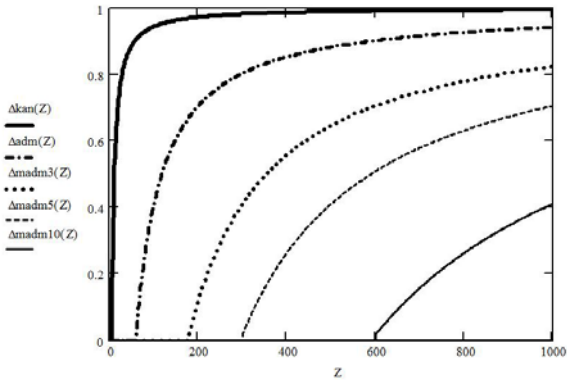


Рис. 3 - Зависимости коэффициента отклонения Δ от числа запросов z для различных моделей VPN

Увеличение числа конечных точек VPN P в канальной модели ведет к увеличению верхнего предела коэффициента отклонения с квадратичной скоростью, тогда как в потоковой и модифицированной моделях VPN это увеличение происходит с линейной скоростью.

Проблема однопутевого маршрутирования трафика в потоковой модели VPN *ASym/NSplit /Fix/Stat* при наличии ограничений на сетевые ресурсы сведена к проблеме нахождения максимального паросочетания по исходящему и входящему трафику (назовем его B -паросочетанием M_B , где параметр B отображает вес каждой вершины, в нашем случае – резервируемую полосу пропускания ребер для реализации VPN). Для определения резервируемой полосы пропускания некоторого пути между вершинами u и v каждая вершина в графе $G_{B_i,e}$ должна быть задана исходящим трафиком B_u^{out} и входящим трафиком B_v^{in} , что является примером B -паросочетания M_B . Сумма всех значений полос пропускания C , назначенных ребрам графа $G_{B_i,e}$ в максимальном B -паросочетании M_B , равна максимальному значению резервируемой полосы пропускания C_e на ребре e , используемом в

данной VPN. Разработанный алгоритм анализа возможности реализации данной модели VPN основывается на использовании алгоритма максимального потока в сети.

Идея проверки возможности резервирования полосы пропускания при многопутевом маршрутировании трафика в модели *ASym/Split/Fix/Stat* основывается на определении некоторой условной стоимости $c_{B_i,e}$ для каждого ребра в графе $G_{B_i,e}$. Разработан соответствующий алгоритм, в котором необходимая полоса пропускания y_e для ребра e определяется с использованием алгоритма минимальной стоимости потока в сети.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию разработанных моделей и алгоритмов планирования VPN на основе разработанного программного пакета «Конструктор VPN». Структура пакета показана на рис. 4.

Пакет создан в среде Borland Delphi 7.0 с использованием формата XML для хранения данных в файлах и обеспечивает работу в следующих основных режимах: создание новых и редактирование уже существующих моделей VPN и выполнение экспериментов с моделями VPN. Пакет зарегистрирован в отраслевом фонде алгоритмов и программ (свидетельство об отраслевой регистрации №8947 от 23.08.2007г., номер гос. регистрации 50200701857 от 6.09. 2007г.).

С использованием данного пакета была определена экономия сетевых ресурсов при реализации VPN на базе потоковой модели по сравнению с канальной моделью. Исследования проводились на примере топологий двух крупнейших российских магистральных сетей IP/MPLS: ОАО «РТКомм.РУ» (группа компаний «Синтерра») и ЗАО «Компания ТрансТелеКом».

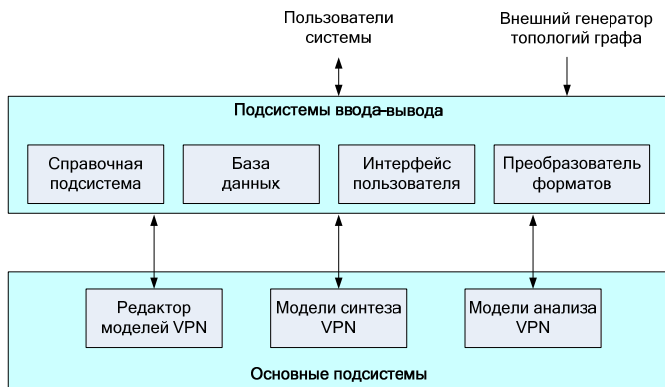


Рис. 4. Структура программного пакета «Конструктор VPN»

Исследования показали, что в канальной модели VPN зависимость резервируемой полосы пропускания от числа конечных точек подчиняется практически квадратическому закону, тогда как для потоковой модели VPN характерна линейная зависимость (рис. 5). Это позволяет рекомендовать потоковую модель для крупных сетей с большим количеством узлов и конечных точек VPN.

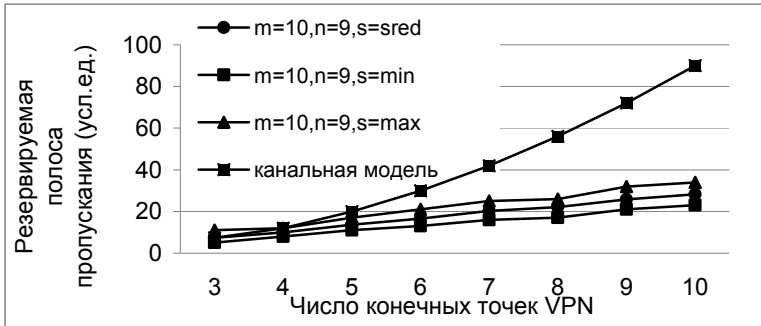


Рис. 5. Зависимости величины резервируемой полосы пропускания от числа конечных точек VPN для канальной и симметричной потоковой моделей

Проведены исследования потоковых моделей VPN при асимметричном трафике конечных точек, что весьма актуально для современной практики операторов связи при использовании технологий асимметричных цифровых абонентских линий ADSL. Выявлено, что при небольших значениях коэффициента асимметрии трафика конечных точек его изменение сильно влияет на характеристики VPN, а при больших значениях резервируемая полоса пропускания остается практически постоянной (рис. 6).



Рис. 6. Зависимость резервируемой полосы пропускания VPN от величины коэффициента симметрии трафика

На основе результатов исследований сделан вывод, что на практике при больших размерах сетей целесообразно использовать древовидную топологию VPN, так как она имеет лучшие возможности для планирования и админи-

стрирования по сравнению с однопутевым и многопутевым маршрутированием трафика виртуальных сетей, хотя и может потребовать несколько большую полосу пропускания.

Результаты исследований на различных графах сетей показали, что разработанный алгоритм ДАПД обеспечивает резервирование значительно меньшей полосы пропускания, чем имеющиеся алгоритмы.

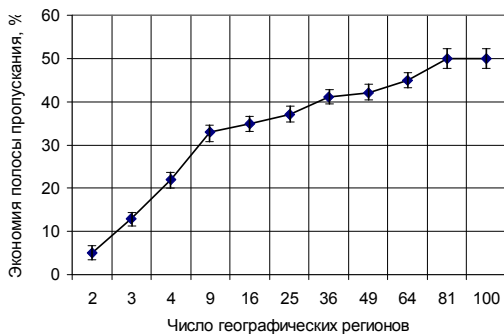


Рис. 7. - Экономия полосы пропускания в комбинированной модели VPN по сравнению с потоковой моделью в зависимости от числа географических регионов

Получены результаты моделирования со случайными графами, показывающие преимущество комбинированной модели VPN, выражающейся в экономии требуемых сетевых ресурсов от 25 до 50% в зависимости от количества групп связности, что позволяет рекомендовать данную модель для практического применения (рис. 7).

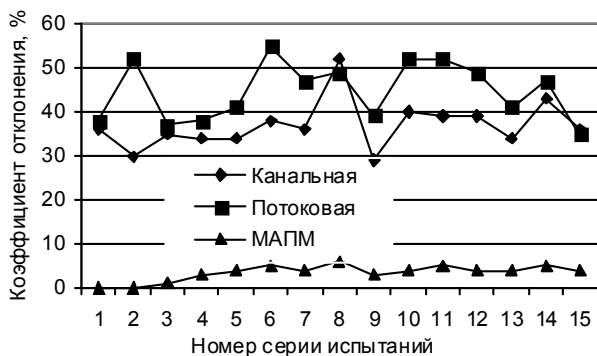


Рис. 8 - Коэффициент отклонения запросов для разных моделей VPN

Экспериментально доказано, что при использовании алгоритма МАПМ коэффициент отклонения запросов на реализацию VPN при ограниченных сетевых ресурсах значительно меньше, чем в канальной и обычной потоковой моделях. Практически во всех сериях испытаний он не превышал 5%, в то же время в канальной и потоковой моделях находился в диапазоне от 30% до 55% (рис. 8).

Шестая глава посвящена разработке методик количественной оценки управленческих решений при предоставлении услуг VPN. Раз-

работано дерево целей для оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах VPN (B0), которое содержит три главных критерия (ветви): B1 - вид услуг, предоставляемых в виртуальной частной сети, B2 - безопасность передачи информации, B3 - состояние инфокоммуникационной инфраструктуры компании. Каждый из критериев, в свою очередь, состоит из составляющих критерия или подкритериев, которые в свою очередь, имеют свои составляющие (рис. 9).

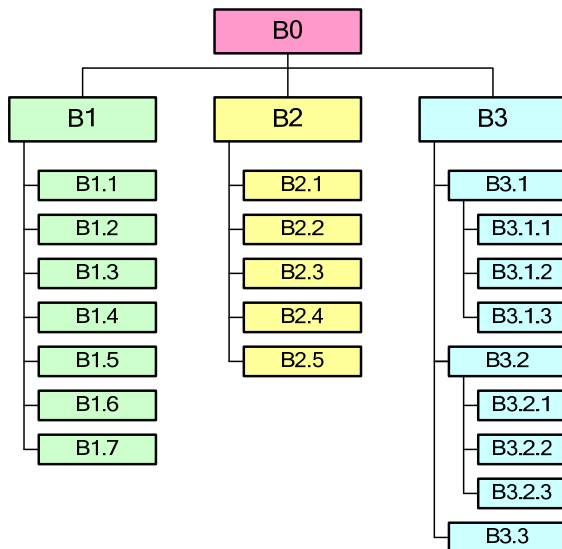


Рис. 9. Схема модели для оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах VPN

Так как задача оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах VPN не поддается формализации и не может быть решена известными математическими методами, то в диссертации использованы методы экспертных оценок.

Для численного выражения относительной степени взаимодействия элементов в иерархии использован метод анализа иерархий (МАИ). При использовании МАИ общая относительная оценка экспертов определяется выражением:

$$c_{БП}^{ОЭ} = \frac{\sum_{m=1}^M \left(\sum_{n=1}^N OЭ_{n,m} \right) + \sum_{m=1}^M OЭ_m}{БП}, \quad 0 \leq c_{БП}^{ОЭ} \leq 1,$$

где $OЭ_m$ – оценка эксперта по m -й составляющей критерия;

$OЭ_{n,m}$ – оценка эксперта по n -й составляющей m -го подкритерия;

N – число составляющих в m -м подкритерии;

M – число подкритериев в критерии;

$БП$ – база проекта (максимальное число баллов).

Величина $c_{БП}^{OЭ}$ позволяет судить о том, какую долю от $БП$ набрал данный вариант использования услуг VPN и по этой величине определять целесообразность использования в компании услуги виртуальной частной сети.

При принятии экспертами положительного решения о необходимости создания VPN возникает вопрос выбора конкретных технологических решений. Разработано дерево целей для реализации двух основных задач VPN (рис. 10): обеспечение соответствующего уровня безопасности (C1) и качества предоставляемых услуг (C2). Для выполнения глобальной цели C0 – обеспечения экономичной связи соответствующего качества и необходимого уровня безопасности передачи информации между корпоративными пользователями – определен перечень локальных целей реализации VPN. Для определения значимости целей системы по выбору технологий реализации VPN предлагается также использовать МАИ.

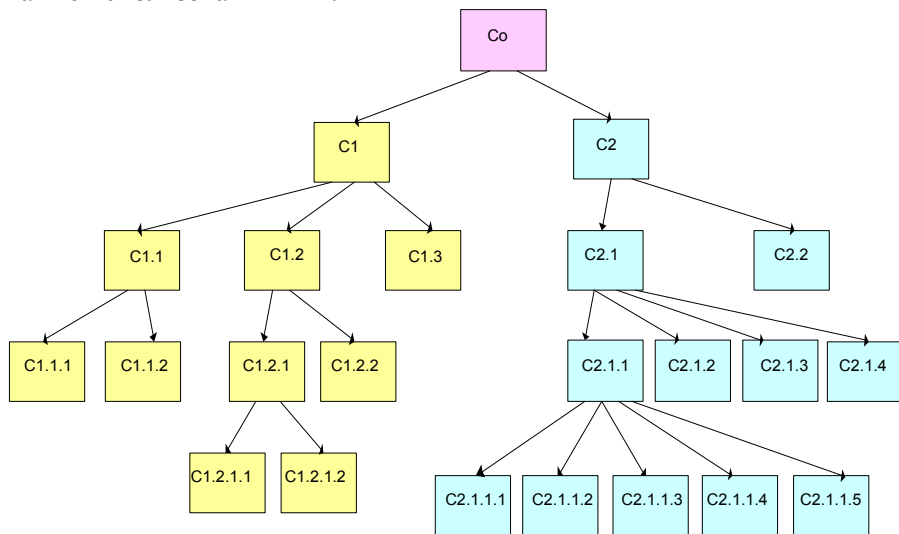


Рис. 10. Дерево целей модели принятия решений по выбору технологий реализации VPN

Разработанные экспертные модели, реализованные в виде электронных таблиц, позволили на практике формализовать и унифициро-

вать процедуру оценки потребностей корпоративных пользователей в услугах VPN и принятия решения по выбору технологии реализации VPN в компаниях, имеющих разветвленную (многофилиальную) территориально разнесенную структуру, что значительно повысило лояльность корпоративных клиентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе получены следующие теоретические и практические результаты:

1. На основе анализа технологий виртуальных сетей показана целесообразность учета особенностей практической реализации VPN для эффективного управления сетевыми ресурсами. Должны учитываться как общие характеристики сетей общего пользования, так и специфические требования отдельных VPN.

2. Разработана общая архитектура системы поддержки операционной деятельности провайдеров услуг VPN, которая позволяет автоматизировать процессы принятия заказов, планирования, администрирования и настройки виртуальных частных сетей и повысить эффективность использования ресурсов сетей общего пользования с одновременным повышением качества предоставляемых услуг корпоративным клиентам.

3. Сформулирован новый методологический подход к процессу планирования сетевых ресурсов для реализации VPN с интегральным учетом интересов поставщиков и потребителей услуг VPN. Процесс планирования виртуальной сети должен включать решение задач анализа и синтеза топологии VPN.

4. Впервые сформулирована математическая задача построения топологии VPN с учетом характера маршрутирования трафика виртуальной сети, полноты информации о матрице трафике конечных точек VPN, ограничений на доступные сетевые ресурсы.

5. Предложен набор моделей реализации VPN, учитывающий степень полноты знаний о матрице трафике конечных точек, который включает канальную, потоковую и комбинированную модели. Разработаны системы классификации и условных обозначений потоковых моделей VPN.

6. Разработан ряд эффективных алгоритмов анализа и синтеза топологии различных моделей VPN, учитывающие специфические особенности их практической реализации. В частности разработан итерационный двухшаговый алгоритм покрывающего дерева для определе-

ния оптимальной топологии с точки зрения резервируемой полосы пропускания в асимметричной модели VPN, который обеспечивает уменьшение требуемых сетевых ресурсов и имеет меньшую сложность по сравнению с существующими алгоритмами.

7. Предложен метод определения древовидной топологии VPN, обеспечивающий наибольшую оставшуюся свободную полосу пропускания и требующий резервирования меньшей полосы пропускания на ветвях дерева по сравнению с известными методами. Данный метод обеспечивает как эффективность распределения полосы пропускания, так и балансировку нагрузки в сети общего пользования.

8. На основе разработанных моделей, методов и алгоритмов создан программный пакет «Конструктор VPN», который позволил провести исследования поведенческих и структурных особенностей моделей виртуальных частных сетей и оценить эффективность алгоритмов и методов распределения ресурсов сетей общего пользования при планировании VPN.

9. Экспериментальные исследования с использованием разработанного программного пакета «Конструктор VPN» показали, что в канальной модели VPN зависимость резервируемой полосы пропускания от числа конечных точек подчиняется практически квадратическому закону, тогда как для потоковой модели VPN характерна линейная зависимость. Это позволяет рекомендовать потоковую и комбинированные модели для крупных сетей.

10. Проведено имитационное моделирование разработанной комбинированной модели VPN, результаты которого показали экономию требуемых сетевых ресурсов от 25 до 50% в зависимости от количества групп связности, что позволяет рекомендовать данную модель для практического применения.

11. Разработаны экспертные модели, использование которых на практике в виде электронных таблиц позволило формализовать и унифицировать процедуру количественной оценки управленческих решений при предоставлении услуг VPN корпоративным пользователям с территориально распределенной многофилиальной структурой.

Таким образом, в результате выполненных исследований в диссертации решена научно-техническая проблема создания взаимосвязанной совокупности моделей, методов и алгоритмов анализа виртуальных частных сетей, позволяющих повысить эффективность использования ресурсов сетей общего пользования, что имеет важное народнохозяйственное значение как для поставщиков, так и для потребителей услуг VPN.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Росляков, А. В. Виртуальные частные сети. Основы построения и применения / А. В. Росляков – М.: Эко-Трендз, 2006 – 304 с.
2. Сети следующего поколения NGN / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, М. Ю. Самсонов, И. А. Чечнева, И. В. Шибавая; под. ред. А. В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – XXX с.

Статьи в отраслевых научных и технических журналах

3. Росляков, А. В. Модели и методы оценки качества услуг IP–телефонии / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов // Электросвязь. – 2002. – №1. – С. 15–18.
4. Росляков, А. В. Обеспечение качества услуг IP–телефонии / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов // Информкурьерсвязь. – 2002. – №1. – С. 48–50.
5. Росляков, А. В. Анализ механизмов обеспечения качества IP–услуг / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов // Информкурьерсвязь. – 2002. – №2. – С. 48–50.
6. Росляков, А. В. Соглашение об уровне обслуживания в МСС: вопросы и ответы / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, Т. Б. Денисова // Информкурьерсвязь. – 2002. – №8. – С. 32–34.
7. Росляков, А. В. Интегрированная телекоммуникационная инфраструктура для реализации проектов ФЦП «Электронная Россия» / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов // Информкурьерсвязь. – 2003. – №7. – С. 39–42.
8. Самсонов, М. Ю. Мониторинг российского сегмента сети Интернет в рамках ФЦП «Электронная Россия» / М. Ю. Самсонов, А. В. Росляков, И. А. Чечнева, В. В. Федорцов // Электросвязь. – 2003. – №4. – С. 18–20.
9. Лепихов, Ю. Н. Тульский филиал «ЦентрТелекома» на пути к сети следующего поколения / Ю. Н. Лепихов, М. Ю. Самсонов, А. В. Росляков // Электросвязь. – 2003. – №8. – С. 41–43.
10. Росляков, А. В. Методика мониторинга российского сегмента сети Интернет / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, И. А. Чечнева, В. В. Федорцов, Э. М. Мердеев // Информационные ресурсы России. – 2004. – №4 (80). – С. 35–38.
11. Росляков, А. В. Отличительные особенности телекоммуникационной сети для государственных нужд / А. В. Росляков // Телекоммуникационное поле регионов. – 2005. – №1. – С. 10–13.
12. Росляков, А. В. Анализ зарубежного и отечественного опыта построения телекоммуникационных сетей для государственных нужд / А. В. Росляков, И. А. Чечнева // Инфокоммуникационные технологии. – 2005. – №4. – С. 45–52.
13. Росляков, А. В. Сравнение телекоммуникационной сети для государственных нужд, сетей связи общего пользования и ведомственных сетей / А. В. Росляков // ВКСС. Connect! – 2005. – №5. – С. 51–57.
14. Росляков, А. В. Реализация древовидной VPN на базе потоковой модели / А. В. Росляков // Инфокоммуникационные технологии. – 2006. – №2. – С. 72–76.
15. Росляков, А. В. Алгоритм реализации потоковой модели VPN с учетом ограничений на сетевые ресурсы / А. В. Росляков // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Том 5. – №2. – С. 47–52.
16. Росляков, А. В. Аппроксимационные алгоритмы проектирования отказоустойчивых VPN в древовидной асимметричной потоковой модели / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – №4. – С. 43–48.
17. Росляков, А. В. Экспериментальное исследование моделей VPN в условиях ограничений на сетевые ресурсы / А. В. Росляков // Инфокоммуникационные технологии.

– 2007. – Том 5. - №2. – С. 53-57.

18. Росляков, А. В. Модели и методы реализации отказоустойчивых VPN / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // Электросвязь. – 2007. - №7. - С. 47-50.
19. Росляков, А. В. Модифицированный алгоритм реализации потоковой модели VPN с древовидным маршрутированием трафика / А. В. Росляков // ВКСС. Connect! – 2007. - №1. – С. 86-95.
20. Росляков, А. В. Исследование характеристик виртуальных частных сетей при ограниченных ресурсах сетей общего пользования / А. В. Росляков // ВКСС. Connect! – 2007. - №5. – С. 56-63.
21. Росляков, А. В. Проблемы построения сетей следующего поколения / А. В. Росляков // Телекоммуникационное поле регионов.– 2007. – №2-3. – С. 26–29.
22. Росляков, А. В. Оценка потребностей корпоративных пользователей в услугах виртуальных частных сетей / А.В. Росляков // ВКСС. Connect! – 2007. - №6. – С. 113-119.
23. Росляков, А. В. Модели реализации VPN / А. В. Росляков // Технологии и средства связи. – 2008. – №1. – С. 58-60.
24. Росляков, А. В. Системы поддержки операционной деятельности провайдеров услуг VPN / А. В. Росляков, Т. О. Абубакиров, А. А. Росляков // Технологии и средства связи. – 2008. – №2. – С. 60-62.

Статьи в сборниках научных трудов и в трудах конференций

25. Росляков А. В. Оптимальное распределение сетевых ресурсов для реализации виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // Труды учебных заведений связи. – Вып. №170. – С–Пб. – 2004. – С. 65–74.
26. Росляков А. В. Использование потоковой модели для реализации симметричной древовидной VPN / А. В. Росляков // Труды учебных заведений связи. – Вып. №174 – С–Пб. – 2006. – С. 6-15.
27. Росляков, А. В. Улучшенный аппроксимационный алгоритм построения отказоустойчивой древовидной VPN / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ, СПб – 2006. – №175. - С. 54-61.
28. Росляков А. В. Метод проектирования VPN на основе дерева Штейнера / А. В. Росляков // Труды Российского научно–технического общества радиоэлектроники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXI. – М., 2006. – С. 195-198.
29. Росляков, А. В. Математическая модель технологии Differential Service / А. В. Росляков, М. Ю. Самсонов, П. А. Ефремов // Сборник трудов ученых Поволжья «Информатика, радиотехника, связь». – Самара. – 2001. – С. 56–59.
30. Росляков А.В. Системное проектирование интегрированной телекоммуникационной инфраструктуры / А. В. Росляков // Труды Российского научно–технического общества радиоэлектроники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LIX–1. – М., Радио и связь, 2004, с. 39–41.
31. Нуштаев, А. В. Приближенные алгоритмы проектирования отказоустойчивых VPN в симметричной и асимметричной древовидной потоковой модели / А. В. Нуштаев, А. В. Росляков // Доклады 9-ой Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Труды РНТОРЭС им. А.С.Попова, вып. IX-1, М, 2007, с. 164-168.
32. Росляков, А. В. Алгоритмы построения отказоустойчивых виртуальных частных сетей / А. В. Росляков, Нуштаев А. В.// Труды Российского научно–технического общества радиоэлектроники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LX–1. – М., 2005. – С. 54-57.

33. Росляков, А. В. Аппроксимационные алгоритмы для проектирования отказоустойчивых VPN в потоковой модели с асимметричным трафиком и древовидной топологией / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // Труды XIII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». Т.2. Секции 4,5,16-19., 17-19 апреля 2007, Воронеж, с. 1026-1035.
34. Кашин, М. М. Обеспечение качества обслуживания в сетях NGN / М. М. Кашин, А. В. Росляков // Актуальные проблемы современной науки. Технические науки. Часть 24-26. Энергетика. Радиотехника и связь. Охрана труда. / Труды 2-го Международного форума (7-й международной конференции) 20-23 ноября 2006 г. – Самара, 2006. – С. 40-42.
35. Росляков, А. В. Использование лагранжевых релаксаций для проектирования виртуальных частных сетей со сквозными ограничениями на качество услуг / А. В. Росляков, А. А. Ефремов // Труды Российского научно-технического общества радиоэлектроники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXIII. – М., Радио и связь, 2008, с. 222–224.

Тезисы докладов на конференциях

36. Росляков, А. В., Обобщенная модель QoS для IP-сетей / А. В. Росляков, В. Г. Карташевский, М. Ю. Самсонов, Т. Б. Денисова // Международный семинар «Перспективы развития современных средств и систем телекоммуникаций»: Тез. докл. – Новосибирск, 2002. – С. 95–102.
37. Росляков, А. В. Анализ возможности применения технологии VPN для ФЦП «Электронная Россия» / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // XI Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава ПГАТИ: Тез. докл. – Самара, 2004, с. 60–61.
38. Росляков, А.В. Оптимальное распределение ресурсов сети MPLS для реализации VPN / А. В. Росляков // X международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC–2004): Тез. докл. – Воронеж, 2004, с. 54-57.
39. Росляков, А. В. Исследование потоковой модели реализации виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // V Международная конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: Матер. конф. – Самара, 2004, с. 21-23.
40. Росляков, А. В. Построение виртуальных частных сетей на базе потоковой модели / А. В. Росляков // 7 Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA–2005): Тез. докл. – М., 2005, с. 136–139.
41. Росляков, А. В. Асимметричная потоковая модель VPN / А. В. Росляков, А. В. Нуштаев // Труды XII Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава ПГАТИ: Тез. докл. – Самара, 2005, с. 56–58.
42. Росляков, А. В. Классификация поточных моделей VPN / А. В. Росляков // Шестая Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Уфа, 2005. – С. 117-118.
43. Росляков, А. В. Опыт проектирования мультисервисных сетей региональных операторов связи / А. В. Росляков, Э. М. Мердеев, А. Г. Литвинов // XIII юбилейная Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2006. – С. 48.
44. Росляков, А. В. Метод оптимальной реализации виртуальных частных сетей на базе потоковой модели / А. В. Росляков // XIII юбилейная Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2006. – С. 51-52.
45. Росляков, А. В. Услуги сетей следующего поколения NGN / А. В. Росляков // VI Международная выставка-форум «Инфокоммуникации России – XXI век», Самара,

2006, с. 89-90.

46. Росляков, А. В. Модели и методы оптимизации виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // VII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2006. – С. 13-16.

47. Росляков, А. В. Аппроксимационные методы решения задачи оптимизации пропускной способности VPN / А. В. Росляков // VII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2006. – С. 54-55.

48. Росляков, А. В. Теоретические проблемы проектирования виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // VII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2006. – С. 56.

49. Росляков, А. В. Теоретические и практические проблемы миграции к сетям следующего поколения NGN / А. В. Росляков // VII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2006. – С. 154-155.

50. Росляков, А. В. Программа проектирования виртуальных частных сетей VPN-DESIGNER / А. В. Росляков, Сергеев А. В. // VII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2006. – С. 161-162.

51. Росляков, А. В. Модифицированная потоковая модель виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // XIV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2007. – С. 49.

52. Росляков, А. В. Программное исследование виртуальных частных сетей / А. В. Росляков, А. В. Сергеев // XIV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2007. – С. 50.

53. Росляков, А. В. Пакет проектирования виртуальных частных сетей / А. В. Росляков, А. В. Сергеев, А. В. Нуштаев // Отраслевой фонд алгоритмов и программ. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №8947 от 23 августа 2007 г. Номер государственной регистрации 50200701857 от 6 сентября 2007 г.

54. Росляков, А. В. Оценка потребностей корпоративных пользователей в услугах виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // VIII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Уфа, 2007. – С. 126-128.

55. Росляков, А. В. Классификация услуг сетей связи следующего поколения / А. В. Росляков // Материалы конференции «Услуги электросвязи. Инновационные решения, тенденции и проблемы», М., 2008. – С. 14-16.

56. Росляков, А. В. Использование метода анализа иерархий для оценки потребностей в услугах виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // XV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2008. – С. 81-82.

57. Росляков, А. В. Экспериментальное исследование потоковых моделей виртуальных частных сетей / А. В. Росляков // XV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2008. – С. 82-83.

58. Росляков, А. В. Архитектура системы автоматизированной поддержки услуг виртуальных частных сетей / А. В. Росляков, Т. О. Абубакиров // XV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, ПГАТИ, Самара, 2008. – С. 83-84.