

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет имени  
академика С.П. Королева»

На правах рукописи

Сухов Андрей Михайлович

Научные основы анализа качества интернет трафика

Специальность 05.13.13 - «Телекоммуникационные системы и компьютерные  
сети»

Диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук

Самара 2007

## Содержание

Введение	5	
Глава 1	Обзор состояния научно-исследовательских сетей	39
1.1	Сравнительный обзор состояния научно-образовательных сетей в России и Европе	39
1.2	Сравнительный анализ региональных научно-образовательных сетей	47
1.3	Обзор состояния телекоммуникаций в Самарской области	52
1.4	История создания и принципы построения Самарской региональной научно-образовательной сети	64
1.5	Структура Самарской региональной научно-образовательной сети	70
1.6	Подготовка специалистов в области сетевых технологий	82
Глава 2	Технические решения, используемые при построении региональных научно-образовательных сетей и их мониторинге	88
2.1	Эффективность региональных операторов связи	88
2.2	Экспериментальный спутниковый IP канал для российской провинции	97
2.3	Linux как основная операционная система узла Internet	105
2.4	Создание измерительной инфраструктуры для российского сегмента Интернет	111
Глава 3	Тестирование качества каналов Интернет	120
3.1	Критерии качества каналов Интернет	121
3.2	Тестирование качества каналов Интернет	126
3.3	Градация состояний сети на уровне потоков	129

3.4	Средняя скорость потока как основной параметр для сравнения качества соединений	133
3.5	Методика тестирования	137
3.6	Анализ результатов эксперимента	139
Глава 4	Требования к сети, предъявляемые для пропуска высокоскоростных мультимедийных потоков	144
4.1	Обзор основных мультимедиа технологий и факторов, влияющих на их качество	144
4.2	Терминология	148
4.3	Аналитическая модель для оценки качества видео трафика	151
4.4	Эксперименты необходимые для уточнения аналитической модели	154
4.5	Структура первоначального сигнала	158
4.6	Интерпретация результатов	165
Глава 5	Система резервирования трафика	170
5.1	Схема резервирования	172
5.2	Параметры, используемые при описании систем резервирования трафика	179
5.3	Аналитические законы и специальные точки обобщенного распределения Зипфа	183
5.4	Архитектура системы резервирования	185
5.5	Расчет предельной производительности для статического подхода	187
5.6	Экспериментальные данные и их обработка	188
5.7	Основные соотношения между параметрами системы	193

5.8	Алгоритм резервирования на базе распределения Зипфа	195
5.9	Эффект изменения документов в глобальной сети	198
5.10	Алгоритмы, учитывающие эффект изменения	203
	Заключение	207
	Библиографический список использованной литературы	217
	Приложения	231

## **ВВЕДЕНИЕ**

Последнее поколение информационных научно-образовательных технологий требует создания высокоскоростной сетевой инфраструктуры. Подобная инфраструктура объединяет общероссийскую магистральную сеть для науки и образования, региональные сети и локальные сети научно-исследовательских и образовательных организаций, а также учреждений культуры и здравоохранения. Современные приложения и сервисы предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности.

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на разработке научных основ анализа качества интернет трафика для внедрения последнего поколения научно-образовательных предложений. Работа посвящена разработке методологии определения качества соединений в глобальной сети и методик тестирования на базе предложенной модели трафика.

Вопросы качества являются одними из основополагающих при разработке любых проектов, будь то строительные или промышленные проекты, получение образования или проекты в сфере информационных технологий (интернет-проекты). Если во многих отраслях накоплен определенный опыт в области управления качеством продукции и процессов, определены методики оценки качества и стандарты качества, работают различные организации, в том числе и фонд «Европейский центр по качеству», то в сфере интернет-технологий, говорить о распространении каких-то единых стандартов качества пока преждевременно.

Для создания стандартов качества в области интернет требуются фундаментальные исследования интернет процессов и протоколов и, прежде всего, построение моделей, описывающих различные типы трафика в глобальной сети. Математическая модель интернет-трафика на уровне потоков базируется на теории стохастических сетей. Основы этой модели были представлены на конференции ACM SIGCOMM в августе 2001 года

Ben Fredj, Bonald, Proutiere, Regnie, Roberts (доклад Statistical Bandwidth Sharing: A Study of Congestion at Flow Level). На основании представленной модели Barakat, Thiran, Iannaccone, Diot, Owezarski исследовали трафик магистральных каналов сети Sprint OC-12 (622 Мбит/с) и усовершенствовали модель. Предложенная модель трафика для не перегруженных участков магистральной сети достаточно проста, и ее можно использовать в управлении сетью.

В настоящей работе для сравнения качества соединений предложено использовать единственный параметр: среднюю скорость потока (flow). В результате исследований найдено соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и средней скоростью потока. Если средняя скорость потока будет выше требуемого предела для того или иного высокоскоростного сервиса, то это только необходимое условие для проведения сеанса связи. Достаточные условия для запуска каждого из высокоскоростных интернет приложений свои. В диссертационной работе разработаны критерии качества для ряда высокоскоростных приложений и сетевой инфраструктуры. Они сформулированы в рамках аналитической модели для оценки качества аудиовизуального трафика, аналитической модели, описывающей систему резервирования трафика для повышения эффективности внешнего канала.

Так, в работе Calyam, Sridharan, Mandrawa, Schopis, Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic, PAM2004 качество аудио, видео конференций анализировалось по шкале MOS (Mean Opinion Score), основанной на человеческом восприятии. Качество мультимедийной информации между двумя точками сравнивалось с показателями качества сетевого соединения. Основная проблема, которая была решена в данной диссертации, может быть сформулирована как: изображение какого качества можно получить после трансляции его по IP сети. Решение этой задачи приводит к практическому применению: определению параметров видео потока (скорость, размер окна,

частоту кадров) по параметрам сетевого соединения (потеря пакетов, вариация задержки, свободная полоса).

Актуальность исследований подтверждается также тем, что они выполнялись в рамках работ, проводимых в соответствии с Межведомственной программой "Создание национальной сети компьютерных телекоммуникаций для науки и высшей школы", проект 2.25 – «Создание регионального сегмента компьютерной информационной среды академических и вузовских организаций г. Самары (включая подразделения Самарского научного центра Российской академии наук)». Создание измерительной инфраструктуры для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети поддержано грантом РФФИ 06-07-89074а. Следует упомянуть и международные проекты:

- проект ИНТАС (INTAS-IA-003) по созданию Европейской сети для математиков EmNet/NIS/PhaseII. В рамках этого проекта был построен первый в регионе Интернет канал [47].
- инфраструктурный грант НАТО "Самарская региональная сеть для нужд конверсии" (CN.NIG.960542), 1996-1998
- организация семинара "Цифровые сети в Среднем Поволжье" (НАТО CN.ANW 972314), 1998 [115,116]
- Телекоммуникационная поддержка программы USIA, "Project Harmony", 1999-2000
- инфраструктурный грант НАТО "Экспериментальный спутниковый канал для российской провинции" (CN.NIG.975463), 1999-2001 [5,6]

Сформулированные автором принципы построения региональной сети были реализованы в течение 1996-2001 годов, когда автор являлся техническим руководителем научно-образовательной сети в г. Самаре. Данная сеть была построена с нулевого уровня, так что была возможность воплотить все сформулированные принципы и технические решения в жизнь, и в

диссертации рассмотрены эти принципы. Начиная с 2000 года, в сфере интересов автора вошли исследования по определению качества предоставляемых услуг и построение аналитических моделей Интернет процессов.

С 2004 года автор занимался созданием измерительной инфраструктуры для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети. Данный проект нацелен на анализ существующей сетевой инфраструктуры RbNet для определения условий функционирования последнего поколения научно-образовательных приложений. Эти приложения предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности.

Исследования на современных высокоскоростных сетях требуют коллективных усилий; доля работ, выполненных одним автором менее одного процента. Кроме этого скорость восприятия информации и, особенно, степень овладения программными средствами падает с возрастом. По наблюдениям автора разница в десять лет соответствует трехкратному росту времени на освоение новых программных пакетов. Поэтому целесообразно привлечение в исследовательский коллектив аспирантов и студентов-старшекурсников, которые помогут в инсталляции необходимых сервисов и сборе данных. Роль руководителя состоит в выборе объекта исследования, формулировке задачи, определении набора данных и методики их обработки. Следуя этой методологии, автору удалось прилечь к исследованиям в области резервирования трафика Дмитрия Долгих, для построения модели трафика для участка высокоскоростной сети Федора Афанасьева, Антона Петрова и Уоррена Дейли (Warren Daly), для анализа мультимедийных потоков Александра Ильина и Прасада Каляма (Prasad Calyam).

**Цели и задачи исследования.** Целью данной работы является разработка научных основ анализа качества интернет трафика и последующая

систематизация проблем, связанных с качеством предоставляемых сетевых услуг для внедрения последнего поколения информационных технологий. В первую очередь изучались те услуги, которые предоставлялись в Самарской региональной сети для науки и образования.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих основных задач:

1. Разработка теоретических основ для моделирования интернет трафика, опирающегося на понятие потоков
2. Внедрение системы интернет телевидения с использованием результатов моделирования аудиовизуального трафика
3. Анализ систем резервирования трафика с целью оптимизации их работы и поиска оптимального алгоритма резервирования
4. Создание экспериментальной базы, позволяющей определять и анализировать основные параметры сетевых соединений
5. Разработка системы мониторинга и поиск критериев качества на базе построенных аналитических моделей, описывающих различные сервисы глобальной сети
6. Формулировка основных принципов построения для региональных сетей науки и образования
7. Разработка методологии сравнительного анализа интернет сервис провайдеров для определения их стоимости

Также цель работы состояла на первом этапе в построении Самарской региональной сети для науки и образования в соответствии с заранее сформулированными принципами. К этой сети по оптоволоконным соединениям стандарта GE и FE (Ethernet) были подключены все государственные ВУЗы Самары и часть коммерческих, все учреждения РАН, крупнейшие библиотеки, учреждения культуры, лучшие средние учебные заведения, органы власти и управления. На втором этапе особое внимание

уделено оценке качества предоставляемых услуг, разработке системы мониторинга и поиску критериев качества, построению аналитических моделей, описывающих различные аспекты проявлений глобальной сети. В первую очередь изучались те сервисы, которые использовались в нашей сети для улучшения работы пользователей. Для успешного внедрения таких приложений, построения аналитических моделей вышеупомянутых Интернет процессов и их проверки создавалась экспериментальная база, позволяющая определять основные параметры сетевых соединений.

### **Методы исследования**

Для разработки научных основ анализа качества интернет трафика применялись различные математические методы с последующей экспериментальной проверкой на базе измерительной инфраструктуры, встроенной в действующую сетевую инфраструктуру. В дополнение к стандартным в исследовании сетевых процессов методам теории стохастических процессов и теории массового обслуживания были использованы методы заимствованные из теоретической физики, в частности метод граничных условий для получения нового решения системы уравнений, описывающих процесс резервирования трафика. Для исследования свойств аудиовизуального трафика были применены элементы системного анализа. Широко использовались новые экспериментальные методы, применяемые в современных телекоммуникациях, такие как измерения и сбор информации о трафике с помощью специально написанных утилит с последующей обработкой данных методами статистического анализа.

**Научная новизна**, полученная лично автором в процессе проведения исследований, заключается в следующих результатах, выносимых на защиту:

1. Аналитическая модель трафика на участке высокоскоростной сети, согласно которой для сравнения качества соединений в глобальной

сети достаточно использовать единственный параметр: среднюю скорость потока (flow).

2. Метод анализа качества интернет каналов, базирующийся на исследовании графической зависимости между загрузкой канала и числом активных потоков в нем.
3. Аналитическая модель для оценки качества аудиовизуального трафика, позволяющее вычислять качество получаемых видео и аудио сигналов на основе параметров интернет соединения между двумя точками.
4. Аналитическая модель системы резервирования трафика (проху cache) с целью повышения эффективности внешнего канала, базирующаяся на новом решении системы уравнений, описывающих процесс резервирования и полученная при помощи метода граничных условий, заимствованного из теоретической физики.
5. Анализ эффективности и методология оценки региональных интернет сервис провайдеров, включая методику и сравнительный анализ эффективности различных транспортных средств, формулировка критериев эффективности инсталляционного процесса, текущей эксплуатации, качества предоставляемой связи.
6. Принципы построения региональной сети для науки и образования, реализованные при создании Самарской региональной сети для науки и образования, включают следующие положения: основой сети должен быть оптико-волоконный кабель, находящийся в собственности научно-образовательных организаций; доленое строительство с частными телефонными компаниями; максимальное совмещение инфраструктуры научно-образовательных сетей с установившейся инфраструктурой связи; получение доступа к первичной наземной цифровой сети и использование конкурентной среды; выбор протокола Ethernet в качестве транспортного протокола первичной сети.

Принципиально новым является применение метода граничных условий, заимствованного из теоретической физики, для построения аналитической модели, описывающей систему резервирования трафика. В качестве одномерной границы выступают особые точки обобщенного распределения Зипфа (Zipf), которое определяет вероятность запросить документ из глобальной сети в зависимости от его популярности. Полученное новое решение системы уравнений, которые описывают процесс резервирования документов, позволяет найти верхнюю границу производительности системы, определить размер дискового пространства системы в зависимости от ширины внешнего канала. Предложена новая архитектура системы резервирования и новые алгоритмы резервирования на основе метрики замещения, базирующейся на распределении Зипфа. Предложено описывать эффект обновления документов в сети Интернет обобщенным распределением Зипфа с меньшим степенным показателем.

В рецензии, написанной для АСМ профессором Висконсинского университета Cecilia G. Manrique, отмечено, что статья [82] написана двумя исследователями, которые могут рассматриваться как пионеры в области телекоммуникаций и связи в России. Эта статья предоставляет объяснение систем резервирования интернет трафика и создает аналитическую модель кэш системы, что связывает ее размер и другие параметры.

В отличие от других моделей трафика на участке высокоскоростной сети состояние сети описывается с помощью двух переменных вместо одной. Это уровень утилизации канала, который описывает нагрузку на сеть, и число активных потоков, характеризующее поведение пользователей. Сравнение двух выражений, полученных при помощи теории массового обслуживания и описывающих трафик опорной сети (backbone), которые имеют разные области применения, приводит к сопоставлению поведения идеальной и реальной сетей. Продемонстрировано, что кривая показывающая зависимость утилизации IP канала от числа активных потоков в нем,

позволяет описать различные состояния сети. Предлагается методика построения такой кривой на основе данных протокола NetFlow, полученных с маршрутизаторов Cisco. Прямолинейный участок кривой, соответствующий идеальному состоянию сети, определяет рабочий участок сети, также оценивается значение доверительного интервала для рабочего участка кривой. Формулируется критерий для поиска проблемных состояний сети.

Принципиальной особенностью модели, описывающей поведение аудиовизуальных потоков (stream) в глобальной сети, является одновременный учет влияния всех трех основных факторов: оборудования, оцифровывающего изображение, сети и человеческого восприятия. Впервые была предложена методика оценки искажений, вносимых сетевым фактором (вариация задержки пакетов и потери пакетов) в исходный сигнал. Проведены экспериментальные исследования в локальной сети, которые позволили найти значения параметров распределений, характеризующих исходный сигнал. Найдено выражение, позволяющее оценить качество аудиовизуального сигнала по шкале MOS, без проведения сеанса связи, только по данным утилиты Iperf или ping.

Выбран набор принципов, оптимально отвечающих условиям Самарского региона (провинциальной российской региональной сети). Следование этим принципам позволило построить Самарскую региональную сеть для науки и образования, где капитальные затраты на инфраструктуру связи в перерасчете на один гигабайт передаваемого трафика более чем на порядок меньше, чем у других региональных сетей, сопоставимых по масштабу. Впервые был предложен рейтинг региональных сетей, учитывающий объем потребляемой информации, число пользователей сети, скорость внешнего канала. Была введена и просчитана норма ежемесячного трафика, необходимого одному научному работнику или преподавателю и студенту.

В работе сформулированы критерии эффективности работы операторов связи, проведен сравнительный анализ эффективности различных транспортных сред, исходя из расходов на построение инфраструктуры связи или ее аренды, времени строительства, предельной скорости связи, фонда оплаты труда, качества связи. Для каждого из этих пунктов введен свой оригинальный параметр. Разработана методика оценки региональных интернет – провайдеров.

Все результаты диссертации являются новыми.

**Практическая ценность работы.** С нулевого уровня построена Самарская региональная сеть для науки и образования, которая на основе оптоволоконной связи объединяет:

- все государственные высшие учебные заведения Самары, включая Самарский государственный аэрокосмический университет, Самарский государственный технический университет, Самарский государственный медицинский университет, Самарский государственный педагогический университет, Самарскую государственную академию путей сообщения, самарскую государственную экономическую академию и др.
- все учреждения российской академии наук, включая Самарский научный центр РАН, ИСОИ РАН, ИПУСС РАН, СФ ФИАН РАН и др.
- большинство частных ВУЗов, например, МИР, образовательную корпорацию XXI век, Муниципальный университет Наяновой и др.
- крупнейшие библиотеки региона, включая СОУНБ
- крупнейшие клиники региона: областная больница им. Калинина, диагностический центр, клиническая больница и др.
- лучшие средние учебные заведения
- органы государственной власти и управления: областную думу, Министерство образования и т.п.

- высокотехнологичные предприятия региона
- самарские филиалы общественных научных сообществ: инженерной академии, академии космонавтики, технологической академии и др.

Общее число рабочих мест в 2001 году превышало 2000, в настоящее время таких рабочих мест более 8000, а общее число пользователей, включая научных сотрудников, преподавателей, инженеров и студентов превысило 35 000 человек. На начало 2005 года было задействовано более 150 километров оптико-волоконного кабеля, внутренняя пропускная способность сети достигала 1 Gbps (стандарты GE и FE), ширина канала на Москву составляла 45 Mbps. По объему потребляемого трафика самарская сеть стоит на пятом месте, уступая Москве, С.-Петербургу, Новосибирску и Екатеринбургу. Однако капиталовложения в самарскую сеть из всех источников не превышают полутора миллиона долларов, в то время как на другие российские сети, сопоставимые по масштабу было потрачено, как минимум, на порядок больше.

Особо хотелось бы отметить телекоммуникационную поддержку совместных проектов Европейского космического агентства и самарских высокотехнологических предприятий аэрокосмической отрасли. В рамках этих проектов осуществлялась передача телеметрии в режиме реального времени с борта спутников серий «Фотон», «Бион» непосредственно европейским партнерам. Во время КА «Фотон-12» было обеспечено успешное проведение эксперимента «MAGIA» на установке «FluidPack». «Операция по спасению» FluidPack стала превосходной демонстрацией успешного сотрудничества между ESRANGE, ЦУП и ЦСКБ. Надежная сеть передачи данных также стала ключевым элементом успеха [29].

Задачи по исследованию Интернет процессов формулировались для решения текущих проблем сети. Так система резервирования трафика стала необходимой ввиду того, что на рубеже веков произошла задержка с переходом общероссийской научно-образовательной на каналы цифровой

иерархии SDH. С 1997 по 2001 год пропускная способность канала на Москву была ограничена 2 Mbps (E1). Начиная с 2000 года, была поставлена под угрозу даже доставка электронной почты. Единственным выходом для увеличения пропускной способности сети и ее администрирования была установка системы резервирования трафика (проху cache, пакет SQUID). Сразу же встал вопрос: как получить наибольшую отдачу от такой системы? Построенная нами модель позволила рассчитать максимальную производительность системы, предельный размер жесткого диска в зависимости от ширины внешнего канала, при превышении которого практически не увеличивается производительность, срок хранения документов в системе. Эти параметры использовались нами при эксплуатации системы, в последствии они были внесены в набор рекомендаций по настройке системы фирмы Measurement-factory, Boulder, Colorado.

Следующей задачей, которую пришлось решать в процессе эксплуатации региональной сети, было моделирование трафика на участке высокоскоростной сети. Цель данного исследования – обеспечение качественным соединением каждого пользователя сети. Существующие на тот момент методы использовали в качестве главного критерия уровень загрузки канала. Однако операторы связи, предоставляющие услуги общероссийской магистральной связи часто подключали к ней большее количество пользователей, чем она могла обслужить. При этом канал, ведущий от регионального оператора к магистральному оставался недогруженным. Поэтому для оценки качества соединения было предложено использовать второй параметр, характеризующий поведение пользователей в сети, – число активных потоков (flow). Продемонстрировано, что кривая показывающая зависимость утилизации IP канала от числа активных потоков в нем, позволяет описать различные состояния сети. После построения данной кривой на ней легко выделить рабочий участок сети и точку перегрузки, что позволяет определить момент, когда данный канал должен

быть расширен. Сформулирован критерий для поиска проблемных состояний сети.

Начиная с 2004 года, усилия автора были направлены на разработку критериев для оценки качества последнего поколения научно-образовательных приложений (грид-инфраструктур, распределенные вычисления, современных средств аудиовизуальной связи, включая высокоскоростные видеоконференции; передачи оцифрованной экспериментальной информации, собранной в различных областях знаний; высокоскоростного доступа к научным публикациям и цифровым библиотекам). В данной диссертации описан метод, позволяющий оценить качество аудиовизуальной связи между двумя точками в глобальной сети по данным утилиты Iperf без проведения сеанса связи. Указанный метод позволяет получить оценку качества связи по шкале MOS, возможную наибольшую скорость аудиовизуального потока. Особую актуальность этот метод получил в связи с распространением мультимедийных услуг в сотовых сетях, где он был использован для подбора параметров потокового телевидения.

**Апробация работы.** Основные результаты серии работ, где рассматривались принципы построения сетей, их реализация, давался сравнительный анализ технологий и сетевой инфраструктуры, докладывались на Всероссийской научно-методической конференции «Телематика» в г. Санкт-Петербурге в 1995, 1996, 1998, 1999 и 2006 годах, конференции ассоциации научных и учебных организаций-пользователей сети передачи данных RELARN в 1994, 1995, 1996, 1997, 1999 годах, Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет» в Новороссийске в 1999, 2001, 2003 и 2004 годах, семинаре НАТО «Цифровые сети в Среднем Поволжье» в 1998 году, в Самаре. Вопросы телекоммуникационного сопровождения спутников по совместной программе с Европейским космическим агентством докладывались на международной конференции «Научные и

технологические российские и зарубежные эксперименты на автоматических космических аппаратах «Фотон», «Бион». Результаты, проблемы, перспективы» в Самаре, 2000 году.

Результаты серии работ, посвященных системам резервирования трафика, докладывались на семинарах "Second Web Cache Managers Workshop", организованным TERENA and DESIRE, Budapest, 2000; «Проблемы современных информационно-вычислительных систем» под руководством проф. Васенина В.А. и проф. Корнеева В.В., мехмат МГУ в марте 2004 года; на конференции RELARN 2001 в Петрозаводске; на конференции ассоциации европейских научно-образовательных сетей TERENA 2001 в Анталии. По итогам TERENA2001 доклад вошел в число 10-ти лучших работ и был опубликован в Computer Networks.

Серия работ, посвященных моделированию трафика на участке высокоскоростной сети, докладывалась на семинаре рабочей группы по сетям нового поколения (TF-NGN, TERENA) в Октябре 2002 года в Будапеште, на семинаре «Проблемы современных информационно-вычислительных систем» под руководством проф. Васенина В.А. и проф. Корнеева В.В. мехмат МГУ в феврале 2004 года; ирландский соавтор работы Warren Daly сделал постерный доклад на TERENA2004, в июне 2004 в Родосе, Греция.

Доклады, посвященные построению измерительной инфраструктуры российского сегмента сети Интернет и анализу сетевых процессов, были сделаны на конференциях RELARN 2004, 2006, Телематика 2006, Научный сервис в сети Интернет 2006, III международной конференции «Интернет нового поколения - IPv6» в ИОХ РАН, Москва, ноябрь 2004, а также на TERENA 2005, Познань, июнь 2005. Серия работ по изучению передачи аудиовизуальной информации в глобальной сети докладывалась на семинаре научно-исследовательского центра мультимедиа технологий ИММ УрО РАН в январе 2006 года и на семинаре «Проблемы современных информационно-

вычислительных систем» под руководством проф. Васенина В.А. и проф. Корнеева В.В. мехмат МГУ в марте 2006 года.

В настоящее время в построенной региональной сети более 8 000 рабочих мест, а общее число постоянных пользователей превышает 35 000 человек. Согласно полученным лицензиям сама сеть и построенные на ее базе сервисы обеспечивают бесперебойное предоставление услуг 24 часа в сутки, семь дней в неделю, а перебои в связи не должны составлять более 30-ти минут. Все исследовательские проекты, проводимые в Самаре, так или иначе, используют региональную сеть для науки и образования. Среди успешно выполненных проектов хотелось бы выделить те, в которых автор принимал самое непосредственное участие. Это телекоммуникационная поддержка совместных проектов Европейского космического агентства и самарских высокотехнологических предприятий аэрокосмической отрасли. Следует отметить применение видео мостов во время конференции «Научные и технологические российские и зарубежные эксперименты на автоматических космических аппаратах «Фотон», «Бион». Результаты, проблемы, перспективы» в Самаре, 2000 году, освещение визита группы голландских студентов под эгидой ЕКА в августе 2006 года посредством интернет телевидения .

На основе результатов диссертации подготовлены и читаются ряд спецкурсов, в том числе и «Принципы построения распределенных IP сетей», «Первичные цифровые сети и телефония». Эти спецкурсы читаются на факультете дополнительного образования Самарской государственной академии путей сообщения для инженеров РАО «Российские железные дороги», которое постепенно переходит на цифровые технологии. В настоящее время также подготовлен курс «Цифровые информационные технологии в журналистике».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано более 50-ти работ, из них 12 в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов

докторских диссертаций, и отражающих основные результаты данного исследования. Среди публикаций имеется одна коллективная монография на английском языке, четыре работы в других периодических изданиях, в том числе и в *Computer Networks*, ведущем журнале по сетевой тематике издательства Elsevier. В ходе работы над диссертацией было сделано 26 докладов на конференциях (16 статей и 10 тезисов) и подготовлены 2 электронные публикации. Следует отметить, что ряд публикаций, в том числе три статьи в журналах из списка ВАК, выполнены единолично автором.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержит 232 страницы текста, 23 рисунка. Список цитируемой литературы составляет 129 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность рассматриваемых задач, научная новизна разработанных методов, показана практическая значимость полученных результатов и кратко описано содержание диссертации.

**Первая глава** содержит обзор научно-исследовательских сетей и сведения о Самарской региональной сети науки и образования. В первом параграфе сравнивается состояние телекоммуникационной инфраструктуры науки и образования, включая организацию и состояние сетей, систему управления, поддержки пользователей, состояние исследований и т.д., в России и Европе. В следующем параграфе делается сравнительный анализ региональных научно-образовательных сетей.

В основу анализа положены данные за март 2004 года, полученные с маршрутизаторов сети RBNet (Russian Backbone Network). Эта сеть отвечает за подключение магистральных узлов внутри России и за значительную часть международных каналов.

В результате оценки трафика, который потребляется региональными сетями, можно составить следующий оценочный рейтинг российских региональных научно-образовательных сетей (см. Таблицу I.1).

**Таблица I.1. Рейтинг регионов (оценка, без Москвы и С. Петербурга)**

Регион	Число компьютеров в сети	Пользователи	
		Научные сотрудники и преподаватели	Студенты
Новосибирск	15 000	6-12 000	40-80 000
Екатеринбург	10 000	6-10 000	30-60 000
Самара	7 000	3-6 000	20-50 000
Казань	6 000	3-5 000	20-45 000
Ростов	4 000	2-4 000	15-30 000
Ярославль	2 000	1.5 – 3 000	10–15000
Нижний Новгород			
Краснодар			

При составлении рейтинга использовались данные [27], что средний ежемесячный трафик одного рабочего места (ПК в локальной сети) составляет примерно 800-1000 Мб, на одного исследователя (научного сотрудника или преподавателя) приходится 400-500 Мб, на студента 50-100 Мб трафика.

В третьем параграфе первой главы дается обзор состояния телекоммуникационной отрасли в Самарской области. В нем выделены операторы, предоставляющие услуги магистральной и зонной связи, телефонные операторы, операторы мобильной связи интернет сервис провайдеры и дано описание их инфраструктуры. Следующие параграфы

параграф посвящены принципам построения и описанию структуры Самарской региональной сети для науки и образования. В хронологическом порядке (за 1997-2001 годы, когда автор отвечал за развитие сети) приведены основные работы по развитию Самарской региональной сети для науки и образования.

**Вторая глава** посвящена техническим решениям, используемым при построении региональных научно-образовательных сетей и их мониторинге. Сформулированы критерии, которые могли бы быть основой для сравнения различных транспортных сред для построения IP сетей. Первая группа оценок касается различных аспектов инсталляции системы, вторая группа описывает процесс последующей эксплуатации, а третья отвечает за качество представляемой связи.

Среди параметров, описывающих инсталляционный процесс, следует выделить стоимость инсталляции системы связи или аренды ее целиком или отдельных ее частей, время, затраченное на инсталляционный процесс и предельную скорость связи, которая может быть достигнута в результате выбранной технологии. Важнейшим вопросом для последующей эксплуатации сети и ее возможного обновления в случае необходимости является вопрос о предельной скорости передачи данных, достигаемых на данном типе кабельной системы.

Для оценки текущих эксплуатационных расходов можно выделить два параметра – расходы на зарплату специалистов по поддержанию работоспособности сети и расходы на аренду кабельной системы, каналов связи, телефонной канализации, помещений, электропитания и т.д., то есть расходы на аренду телекоммуникационной инфраструктуры. Расходы на специалистов и поддержание телекоммуникационной инфраструктуры правильнее оценивать, сопоставляя ежемесячные траты (количество ставок) на Гигабайт переданной информации. Последняя группа параметров

оценивает качество связи при помощи двух параметров: ошибки при передаче информации и надежности.

В процессе телекоммуникационного сопровождения полета спутника "ФОТОН-11" выяснилась недостаточная пропускная способность Самарской региональной сети для науки и образования для передачи телеметрической информации зарубежным партнерам [6]. Этот спутник был изготовлен в Самаре и оснащен оборудованием Европейского космического агентства (ЕКА) для проведения технологических экспериментов. Специалистами ЕКА и Поволжского отделения Российской академии космонавтики был получен грант НАТО (CN.NIG.960542) на создание экспериментального спутникового Интернет канала в Самаре. Мне пришлось руководить технической стороной этого проекта и результаты [51], полученные в ходе организации такого канала, представлены во втором параграфе второй главы.

Результатом наших усилий по созданию телекоммуникационной инфраструктуры для поддержки аэрокосмических проектов явилось создание Центра пользователей системы «Фотон», организованном в Самаре. Из этого центра, равно как и из центра ESRANGE, в Кируне, Швеция, персонал ЕКА наблюдает за полетами, из которых хотелось бы отметить миссию «Фотон-12». Из Кируны с помощью оборудования TeleScience велось управление и анализ экспериментов FluidPac. Самара, находясь на прямой связи с Центром управления полетом (ЦУП) в Москве, контролировала состояние спутника и эксперименты, а также руководила операцией по эвакуации спускаемого аппарата после посадки.

Первый после запуска прием телеметрии показал, что все системы работают хорошо. Во второй день полета – 11 сентября в одной из подсистем установки FluidPac возник необъяснимый сбой, который прервал штатное выполнение эксперимента MAGIA. Судя по сообщениям телеметрии, не было правильно выполнено переключение между двумя режимами оптической диагностики, и эксперимент завис на промежуточном этапе.

Было высказано предположение, что бортовое программно-временное устройство не смогло сбросить программное запирающее процесс. Московский ЦУП выдал последовательность команд на повторение цикла подачи энергии к системе FluidPac, т.е. перезапустил таймер установки.

Данные телеметрии, полученные Москвой и Самарой на 31-м и 32-м витках, показали, что эксперимент MAGIA возобновился в нормальном темпе. Операция по спасению FluidPac стала превосходной демонстрацией успешного сотрудничества между ESRANGE, ЦУП и ЦСКБ. Надежная сеть передачи данных также стала ключевым элементом успеха [29].

В **третьей главе** анализ трафика на основе потоков (flow) используется для оценки качества Интернет соединений. Исследовать поведение сети на основе потоковых технологий значительно удобнее, такое исследование требует меньших затрат.

Обычно для оценки качества работы сети используют следующие характеристики:

- уровень загрузки канала (utilization level);
- время доставки пакета (one way delay), которое в простейшем случае может быть оценено по данным команды ping
- вариация в задержки пакета или джиттер
- количество потерянных пакетов (packet loss rate).

Если последние три характеристики служат в основном для оценки качества соединения между двумя удаленными точками (end-to-end), то уровень загрузки канала применяется для мониторинга канала между двумя соседними маршрутизаторами (hop).

Чади Баракат и др. [69] предложили модель трафика на магистральном участке на основе информации о потоках. Данная модель опирается на понятие Пуассоновского составного шума (shot noise) [68, 79]. С помощью

только трех параметров ( $\lambda$  - параметр прибытия потока,  $E[S_n]$  - средний размер потока,  $E[S_n^2/D_n]$  среднее значение отношения квадрата размера потока к его длительности) модель позволяет определить среднее значение скорости передачи данных в исследуемом участке сети и ее вариацию:

- Среднее значение скорости определяется двумя параметрами  $\lambda$  и  $E[S_n]$ :

$$E[R(t)] = \lambda E[S_n] \quad (I.1)$$

- Вариация скорости  $V_R$  также задается двумя параметрами  $\lambda$  и  $E[S_n^2/D_n]$ :

$$V_R = \lambda E[S_n^2/D_n] \quad (I.2)$$

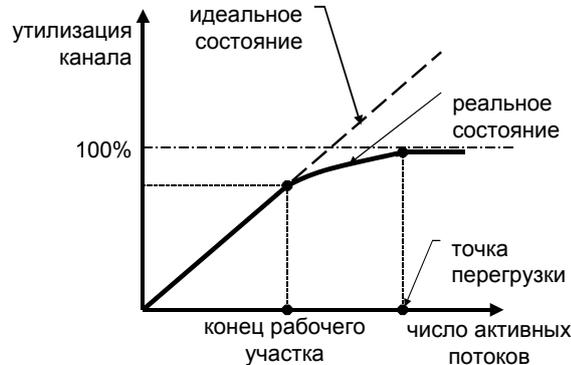
Следует отметить, что оба этих уравнения справедливы только для идеального случая, когда исследуемый участок сети имеет неограниченную пропускную способность. Они применимы только к слабо загруженным участкам.

В настоящей работе представлен метод, согласно которому, чтобы проанализировать качество участка магистрали или канала к провайдеру, необходимо построить графическую зависимость между загрузкой канала и числом активных потоков в нем, то есть ввести дополнительную переменную для описания состояния сети. Предполагаемая кривая изображена на Рис. I.1 и на ней можно выделить три участка, соответствующие качественно различным состояниям сети.

Первая часть кривой соответствует рабочему участку сети и характеризуется минимальными потерями IP-пакетов ( $p < 0.5\%$ ). Предполагается, что это прямая линия, которая заканчивается точкой перегиба. Найти эту точку

можно экспериментальным путем, таким образом, определив длину рабочего участка.

**Рисунок I.1. Состояния сети в зависимости от нагрузки**



Вторая часть кривой соответствует перегруженной сети и характеризуется более существенными потерями пакетов ( $0.5\% < p < 5\%$ ), что приводит к снижению эффективного размера передаваемого сегмента TCP/IP.

Третий участок кривой соответствует полностью неработоспособной сети со значительной потерей пакетов ( $p > 5\%$ ).

Поскольку суммарная нагрузка исследуемого канала есть результат мультиплексирования большого количества потоков, независимых друг от друга, то согласно классической предельной теореме распределение суммарной нагрузки стремится к нормальному (Гауссову) распределению, то для рабочего участка сети может быть введено понятие доверительного интервала.

Это означает, что величина суммарного трафика лежит в следующих пределах [120]

$$E[R(t)] - A(\varepsilon)\sqrt{V_R} \leq R(t) \leq E[R(t)] + A(\varepsilon)\sqrt{V_R}, \quad (I.3)$$

где  $A(\varepsilon)$  нормальная квантильная функция. Уравнение (I.9) утверждает, что величина суммарной нагрузки  $R(t)$  будет находиться вне указанных пределов только в  $100 \times \varepsilon\%$  от общего времени наблюдения.

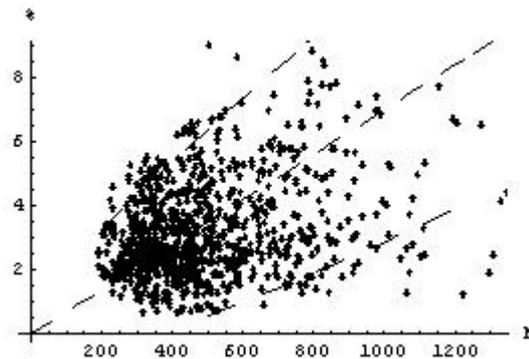
Тогда доверительный интервал для суммарной нагрузки  $R(t)$  может быть выражен следующим образом

$$R(t) = k(N \pm A(\varepsilon)\sqrt{N}) \quad (I.4)$$

где величины  $k$ ,  $A(\varepsilon)$  могут быть найдены из анализа экспериментальных данных для рабочего участка кривой с Рис.I.1, а  $N$  это число активных потоков.

Уравнение (I.4) приводит к следующему критерию поиска проблемных состояний сети: если в результате двух последовательных измерений состояния сети будут лежать вне доверительного интервала ( $\varepsilon \leq 0.05$ ), то сеть испытывает те или иные трудности.

**Рисунок I.2. Доверительный интервал сети HEAnet**



Для того чтобы проверить высказанные предположения о структуре трафика и его свойствах были проведены эксперименты на маршрутизаторах, обслуживающих внешние каналы крупных сетей – ЗАО «СамараТелеком» в Самаре и ирландской научно-образовательной сети HEAnet. Каждый из исследуемых маршрутизаторов обслуживал несколько каналов – внешних и внутренних. Скорости данных подключений составляли 622 и 155 Mbps для

HEAnet и 8 Mbps для СамараТелеком. Загрузка каналов варьировалась от 5% до 60%.

Средняя скорость потока в сети HEAnet равняется 15 Kbps, что на порядок больше, чем у СамараТелеком. и имеется возможность передавать голос, а на отдельных направлениях и качественное видеоизображение. Следует отметить, что по нашим наблюдениям среднее значение скорости потока в Самарской региональной сети науки и образования в 2003 году было равным 7-8 Kbps. Этот факт объясняется тем, что в рамках федеральной межведомственной программы по развитию сети для науки и образования RBNet была одной из первых магистральных сетей, перешедших на транспортные каналы верхнего уровня иерархии PDH (45 Mbps).

**В четвертой главе** описываются ключевые идеи аналитической модели для аудиовизуальных потоков данных. Эта модель применима и к низкоскоростным мультимедийным потокам, но в данной работе особое внимание будет уделяться высокоскоростным системам передачи аудиовизуальной информации.

Можно выделить три основных фактора, влияющих на качество связи:

- фактор оборудования VVoIP систем (Voice and Video over IP), определяющий структуру передаваемого и получаемого сигналов
- качество сети передачи данных, используемой в качестве среды передачи
- человеческое восприятие, служащее основой для оценки качества аудио и видео приложений

Исследования, проводимые до сих пор, ограничивались сравнительным анализом действия двух компонент из вышеупомянутого списка. Так, в работе [71] качество аудио, видео конференций анализировалось по шкале MOS (Mean Opinion Score), основанной на человеческом восприятии.

Качество мультимедийной информации между двумя точками сравнивалось с показателями качества сетевого соединения.

Для того чтобы понять взаимоотношения трех основных факторов, влияющих на качество связи можно выделить основные этапы передачи аудиовизуальной информации через сеть на основе IP протокола. Непрерывный видеоряд, поступающий от наблюдаемого объекта, преобразуется сначала в дискретный ряд, то есть последовательность отдельных изображений, а затем кодируется в цифровую последовательность и разбивается на пакеты при помощи специализированного оборудования. Пакетный поток передается через сеть, испытывая искажения, связанные с вариацией задержки и потерями пакетов. Для устранения искажений, связанных с вариацией задержки пакетов (сетевым джиттером), применяется схема буферизации, после которой происходит декодирование полученной последовательности пакетов.

Проведенные нами эксперименты можно разделить на две основные группы:

*1) Установление характеристик исходного сигнала:* видеоконференция проводилась между двумя точками в локальной сети. В ходе тестов использовалось оборудование от различных производителей, наилучший набор оборудования для видеоконференций был предоставлен HEAnet.

В процессе проведения эксперимента скорость видео потока варьировалась, ее значения составляли 128, 384, 512, 768, 1024, 1472, 1920 Kbps. Данные обо всех IP пакетах фиксировались при помощи пакета Ethereal, далее, используя встроенные фильтры Ethereal, выделялись только те RTP пакеты, которые несли информацию о видео.

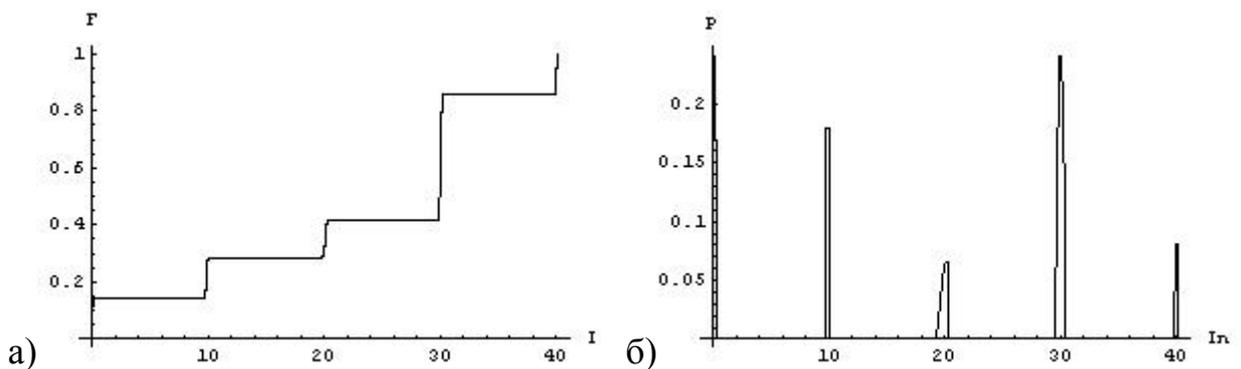
В результате тестирования стало возможным получить данные о параметрах распределений (среднее значение, межквартильная широта и т.д.) для межпакетного интервала исходного сигнала и для размера пакетов. Эти данные сведены в следующую Таблицу:

Таблица I.2. Параметры распределений для исходного сигнала

Разрешение изображения	Скорость, <i>Kbps</i>	Среднее значение межпакетного интервала, <i>ms</i>	Среднее значение размера пакета, <i>байт</i>
QCIF, CIF	128	70-100	600-800
CIF, 4CIF	384	20-30	900-1100
CIF, 4CIF	512	17-25	1000-1200
CIF, 4CIF	768	12-20	1000-1200
CIF, 4CIF	1024	10-18	1000-1300
4CIF	1472	8-15	1000-1300
4CIF	1920	5-10	1100-1300

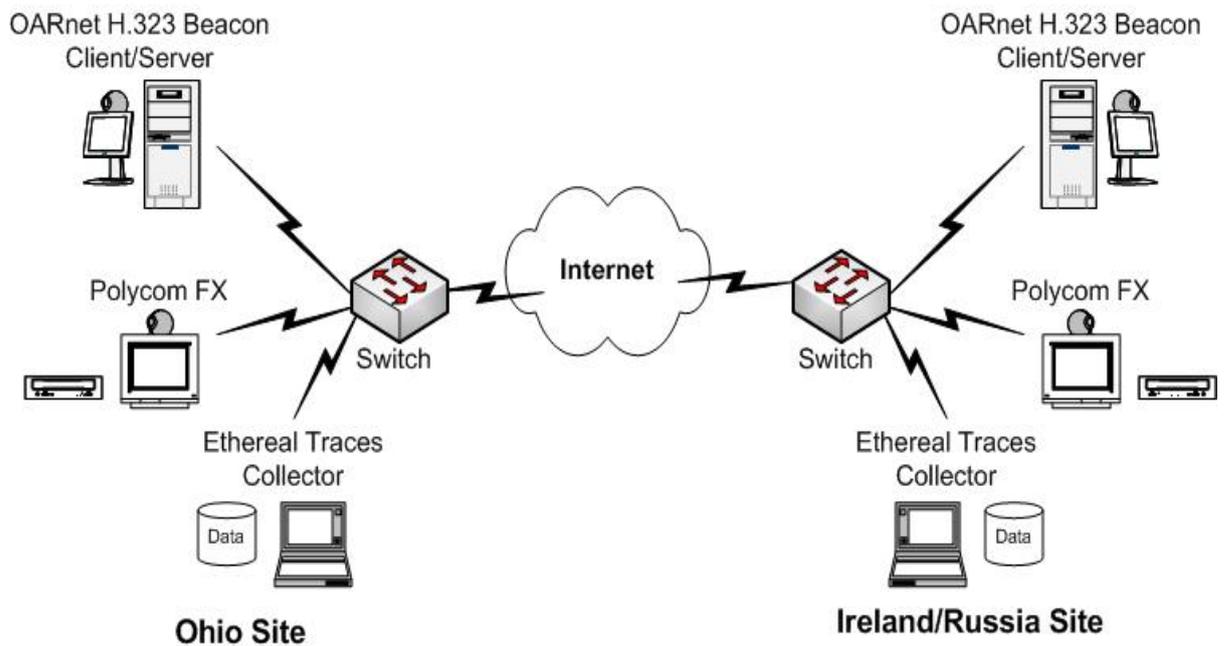
Общий вид функций распределений  $F$  и их плотностей  $p$  для межпакетного интервала исходного сигнала приведены на Рисунках I.3а и I.3б.

**Рисунок I.3. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для межпакетного интервала исходного сигнала на скорости 512 Kbps:**



2) Поиск параметров, описывающих сетевой фактор: Как уже упоминалось выше, при передаче по сети первоначальный аудиовизуальный поток данных искажается. Вторая серия экспериментов нацелена на то, чтобы найти численные характеристики такого искажения.

Рисунок I.4. Схема эксперимента в глобальной сети



Для этого проводится видеоконференция между двумя удаленными точками в глобальной сети, например, между Самарой и Колумбусом или Москвой и Дублином, как это показано на Рис. I.4. При этом данные обо всех RTP (H.261, G.722) пакетах записываются в обеих конечных точках с синхронизированной временной отметкой. Разбивая эти данные на входящий и исходящий видео потоки, можно получить данные о сетевом факторе и факторе оборудования, включая сведения о порядке следования пакетов. Дополнительное программное обеспечение (H.323 Beacon) позволяет оценить качество получаемого изображения по шкале *MOS*.

В результате многочисленных экспериментов в глобальной сети были получены следующие выражения, позволяющие оценить степень ухудшения качества сигнала вследствие искажений, вызванных прохождением сигнала по глобальной сети. Для голоса разницу между качеством аудио сигнала в точках передачи и приема можно выразить, как

$$\Delta Q_{MOS}^{voice} = 0.012\sigma(D_{n+1} - D_n) + 0.24p, \quad (I.5)$$

где  $\sigma(D_{n+1} - D_n)$  - средне квадратичное значение задержки пакетов,  $p$  - процент потери пакетов,  $Q_{MOS}$  - качество звука по шкале MOS. Для нахождения этих параметров  $(\sigma, p)$  можно использовать специализированный пакет **Iperf**, который представит точные значения вариации задержки и потерь пакетов. В крайнем случае, параметры можно взять из данных обычной утилиты **ping**. Например, если в результате команды **ping** будет получено средне квадратичное в  $40\text{ ms}$ , а потери пакетов составят 1%, то качество звука будет ухудшено на 0.72 балла по шкале MOS. Для оценки качества видеоконференции в точке приема видео сигнала применяется более сложное выражение:

$$Q_{MOS}^{video} = 4.5 - 0.015J - 0.008I + 0.00006JI, \quad (1.6)$$

где  $J = \sigma(D_{n+1} - D_n) + 0.2p$  - обобщенный параметр, описывающий сетевой фактор.

Ниже хотелось бы дать некоторые пояснения по выражению для оценки качества видео потоков в сети. В процессе обработки сигнала происходит аппаратное преобразование и последующее кодирование непрерывного сигнала в дискретный, что обуславливает снижение качества аппаратного изображения по сравнению с естественным. Поэтому даже при прочих идеальных условиях максимальное значение  $Q_{MOS}$  в уравнении (1.6) не превысит 4.5.

При уменьшении скорости передачи качество преобразованного сигнала также должно падать, и этот эффект описывает слагаемое  $-0.008I$ , где  $I$  представляет собой среднее значение межпакетного интервала исходного сигнала.

Равные сетевые помехи, описываемые переменной  $J$ , должны ухудшать качество связи, осуществляемой на высоких скоростях, сильнее, чем качество

передачи при малых скоростях, поэтому в уравнении (I.6) для  $Q_{MOS}$  введен дополнительный член второго порядка  $J$ , который учитывает такое поведение.

Для демонстрации нашего подхода рассчитаем ниже оценку качества видео сигнала, которое будет получаться на скорости 384 Kbps, если среднее квадратичная вариации задержки равна 60 ms, процент потери пакетов 2%. Параметр  $I$  равен 30 ms (см. Таблицу I.2), а итоговое качество видео соединения может быть оценено как 2.94, что достаточно критично.

Приведенные нами значения рассчитаны для кодеков Polycom, но в ближайшем будущем мы планируем составить таблицу универсальных коэффициентов  $Q_{ideal}, \alpha, \beta, \gamma, \delta$  уравнения (I.13) для различных кодеков.

$$Q_{MOS}^{video} = Q_{ideal} - \alpha J - \beta I + \gamma JI, \quad J = \sigma(D_{n+1} - D_n) + \delta p \quad (I.7)$$

**Пятая глава** посвящена обсуждению путей повышения эффективности использования каналов, ведущих к вышестоящим интернет сервис провайдерам при помощи систем резервирования трафика (проху cache). Данная статья опирается на опыт Самарской региональной сети для науки и образования, поддерживаемой Самарским государственным аэрокосмическим университетом (СГАУ). В ней обобщены материалы исследований, проведенных автором [16-22, 81, 82] в этой области, а также сведения, полученные со специализированных конференций по web кэшированию и доставке содержательного трафика (www.iwcv.org) и второго семинара по управлению кэширующими системами европейских научно-исследовательских сетей. Работы по созданию и поддержанию такой системы велись в течение 1998-2001 годов, когда региональная сеть испытывала наибольший дефицит пропускной способности внешнего канала.

Два типа соотношений могут претендовать на роль фундаментальных законов, описывающих поведение систем резервирования:

- Обобщенный закон Зипфа,
- Нормировочные соотношения.

Оба этих закона применимы к любым точкам графического представления обобщенного закона Зипфа, как это показано на Рис. I.5

Для построения аналитической модели будут использованы две особые точки с координатами  $(M, 2)$  и  $(L, 1)$ . Обобщенный закон Зипфа, записанный для каждой из этих точек имеет вид:

$$\frac{AK}{M^\alpha} = 2, \quad (I.8)$$

$$\frac{AK}{L^\alpha} = 1 \quad (I.9)$$

Нормировочное условие для точки  $(M, 2)$  дает:

$$\int_1^M \frac{A}{x^\alpha} dx = H_{\max} \quad (I.10)$$

Для реальных систем

$$H = \int_1^{S_k} \frac{A}{x^\alpha} dx, \quad (I.11)$$

где  $S_k$  число документов в описываемой системе резервирования.

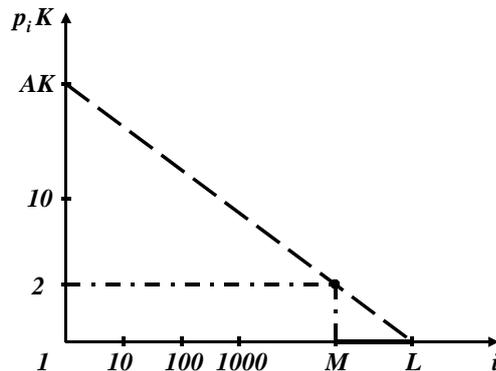
Система из четырех уравнений (I.8)-(I.11) позволяет найти базовые решения, описывающие основные эффекты и взаимозависимости параметров и т.д., таким образом, описывает поведение прокси-сервера. Модификация этой системы и внесение в нее поправок позволяет описать различные эффекты более высокого порядка.

Например, для системы, состоящей из уравнений (I.8) и (I.11), может быть записано следующее решение

$$M = \frac{(1-\alpha)H_{\max}}{2} K, \quad (I.12)$$

которое говорит о том, что для реальных потоков запросов с  $\alpha = 0.8$  и  $H_{\max} = 0.45$  только каждый пятнадцатый документ должен быть сохранен в кэш-системе.

**Рисунок I.5. Особые точки распределения Зипфа**



Особое внимание уделяет вопросу, как изменяется производительность системы резервирования с ростом размера дискового пространства, выделяемого для хранения резервируемой информации. Ряд исследователей [59, 69, 126] предполагали, что зависимость носит логарифмический характер (log-like fashion). Однако, выражение (I.8) для производительности кэш-системы дает следующую зависимость

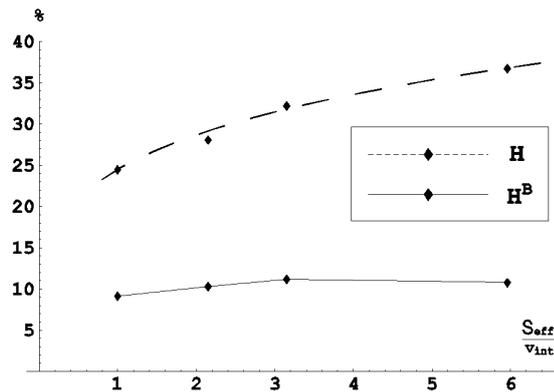
$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{1-\alpha}, \quad (I.13)$$

что говорит о степенной зависимости, что и подтвердили проведенные нами эксперименты [16, 18, 20], результат которых приведен на Рисунке I.6.

Дизайн первых кэш-систем создавался в том время, когда ключевые характеристики трафика еще не были исследованы. Он во многом повторял алгоритмы и архитектуру резервирования для процессов в базах данных и операционных системах. Первоначальные алгоритмы были позднее

уточнены, чтобы улучшить производительность и учесть природу потока запросов, определяемых обобщенным законом Зипфа. Однако эти усилия были ограничены первоначальным дизайном. Предложенная в диссертации новая архитектура кэш системы устраняет эти недостатки.

**Рисунок I.6. График зависимости производительности системы резервирования от ее размера**



Предложенная в настоящем параграфе архитектура систем резервирования позволяет добиться повышения производительности системы, по меньшей мере, на несколько процентов. Этот эффект достигается за счет увеличения ядра системы. Особенно актуально применение данного алгоритма в одноранговых сетях (peer-to-peer), где пользователи могут испытывать дефицит дисковых пространств, выделенных для управления сетью.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена крупная научно-техническая проблема – разработаны научные основы анализа качества интернет трафика и на их основе создана методология сетевых измерений, позволяющая оценить состояние сети для внедрения последнего поколения научно-образовательных предложений. Эта проблема имеет важное социально-культурное и хозяйственное значение для развития телекоммуникационных систем и компьютерных сетей и, прежде всего, для внедрения грид технологий и технологий распределенных

вычислений, приложений на базе потокового видео, включая интернет телевидение, других высокоскоростных приложений.

1. Разработана аналитическая модель трафика на участке высокоскоростной сети, согласно которой для сравнения качества соединений в глобальной сети достаточно использовать единственный параметр: среднюю скорость потока (flow).
2. Найдено соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и средней скоростью потока.
3. Построена аналитическая модель для оценки качества аудиовизуального трафика, позволяющее вычислять качество получаемых видео и аудио сигналов на основе параметров интернет соединения между двумя точками.
4. Разработана аналитическая модель системы резервирования трафика (проху cache) с целью повышения эффективности внешнего канала, базирующаяся на новом решении системы уравнений, описывающих процесс резервирования и полученная при помощи метода граничных условий, заимствованного из теоретической физики.
5. Предложен анализ эффективности и методология оценки региональных интернет сервис провайдеров, включая методику и сравнительный анализ эффективности различных транспортных средств, формулировка критериев эффективности инсталляционного процесса, текущей эксплуатации, качества предоставляемой связи.
6. Сформулированы принципы построения региональной сети для науки и образования и методика составления рейтинга региональных сетей. Эти принципы, реализованные при создании Самарской региональной сети для науки и образования, включают следующие положения: основой сети должен быть оптико-волоконный кабель, находящийся в собственности научно-образовательных организаций; доленое

строительство с частными телефонными компаниями; максимальное совмещение инфраструктуры научно-образовательных сетей с установившейся инфраструктурой связи; получение доступа к первичной наземной цифровой сети и использование конкурентной среды; выбор протокола Ethernet в качестве транспортного протокола первичной сети.

## **ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ**

### **1.1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ В ЕВРОПЕ И РОССИИ**

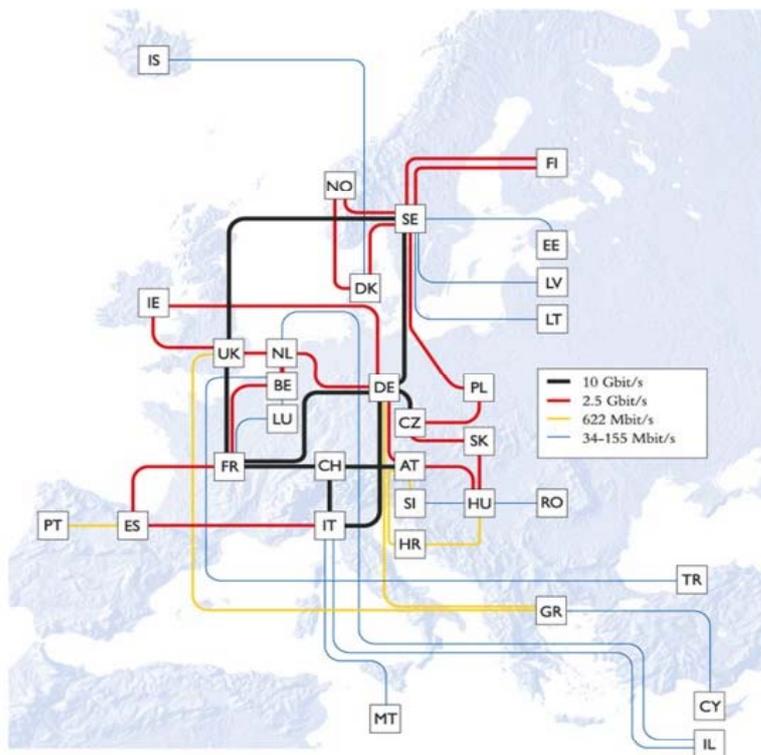
Уровень информационного обеспечения учебного процесса и научных исследований в России традиционно отстает от мировых лидеров, США и стран Европейского сообщества. Это отставание оценивается экспертами в три-пять лет. Следовательно, при развитии российского научно-образовательного пространства можно опираться на опыт развитых стран и прогнозировать состояние собственной инфраструктуры и болевых точек, которые могут возникнуть, с целью оптимизации вкладываемых средств.

В настоящей главе сравнивается состояние телекоммуникационной инфраструктуры науки и образования, включая организацию и состояние сетей, систему управления, поддержки пользователей, состояние исследований и т.д. В качестве объекта для сравнения выбрана Европа, включая и те страны, которые войдут в состав ЕС в обозримом будущем, хотя ряд наиболее показательных сопоставлений охватывает и США, и Китай. Просто ситуация в Европе наиболее знакома автору, регулярно принимающему участие в конференциях TERENA (Trans-European Research and Education Networking Association), семинарах ее рабочих групп, а также других международных проектах под эгидой НАТО, ЕКА (Европейское космическое агентство) и др [50, 52].

В Европе существует некоммерческий оператор DANTE (Delivery of Advanced Network Technology to Europe ltd.), поддерживающий магистральную сеть, объединяющую 28 национальных сетей (NREN, National Research and Education Network). Он базируется в Кембридже, Англия, где находится и центральный маршрутизатор, и пункт управления сетью. В настоящее время под эгидой DANTE успешно функционирует сеть GEANT

(Gigabit European Academic Network Technology), к которой на скоростях 10 Gbps (DWDM) подключены сети крупнейших государств ЕЭС (Германии, Франции, Великобритании, Италии, Швеции, Швейцарии, Австрии и Чехии). Остальные страны, в том числе и бывшего соцлагеря, такие как Финляндия, Норвегия, Испания, Польша, Венгрия, имеют шлюзы, пропускной способностью 2.5 (1.24) Gbps. Основные магистральные узлы GEANT на базе маршрутизаторов Juniper находятся в Германии, Франции, Италии, Швейцарии, Швеции и Италии. К ним присоединены национальные научно-образовательные сети практически всех европейских стран, включая и страны Прибалтики: Литва, Латвия, Эстония (45 Mbps).

**Рисунок 1.1.1. Схема GEANT из доклада на TERENA 2003 [88]**



### Multi-Gigabit pan-European Research Network

#### Backbone Topology December 2002

- Connecting 32 European Countries and 28 NRENs
- Backbone capacity in the range of: 34Mb/s-10Gb/s

В качестве внешних каналов GEANT используются подключения на скорости 2.5 Gbps к точкам обмена трафика (IX – Internet Exchange) в Германии, Австрии и Великобритании, а также США (Нью-Йорк и Калифорния). В настоящее время начал осуществляться проект,

финансируемый NSF, по инсталляции двух каналов 2.5 Gbps между Чикаго и Амстердамом. Еще один важный канал соединяет общеевропейскую магистраль с Токио на скорости 155 Mbps. Две трети затрат по поддержанию работоспособности сети GEANT берет на себя общеевропейский бюджет, остальное вносят национальные сети. Россия (RUNNet, С.-Петербург) имеет выход в эту сеть на скорости 155 Mbps через NORDNet, сеть, объединяющую скандинавские страны. В настоящее время, на декабрь 2003 года, этот канал расширен до 622 Mbps. С 19 августа 2003 года RBNet запустил шлюз емкостью 622 Mbps до узла GEANT в Стокгольме.

Каждая национальная научно-образовательная сеть имеет свою собственную инфраструктуру, базирующуюся на арендованных или собственных, что гораздо реже, каналах связи. Скорости подключения региональных узлов научно-образовательной инфраструктуры зависят от финансовых возможностей страны и варьируется от 10 Gbps в Германии до 100 Mbps в Литве. Все чаще для создания сети арендуется темное оптоволокно и устанавливается собственное каналобразующее оборудование.

Для детального сравнения мне бы хотелось выбрать CESNet, чешскую научно-образовательную сеть. По сообщению Свена Юбика (Sven Ubik), представившего мне статистику работы сети за октябрь 2002 года, их сеть имела подключение к GEANT на скорости 1.24 Gbps, а также использовала 622 Mbps канал к коммерческому оператору (Telia вместо Teleglobe). Ежемесячный трафик и его распределение по протоколам следующее:

- Суммарный трафик: 87 ТВ (у Венгрии 1000 ТВ в год, у Греции 2040 ТВ в год)
- Обмен файлами (kazaа, etc.): 36 ТВ (41%)
- HTTP: 15.6 ТВ (18%)
- FTP: 11.1 ТВ (12.7%)

прочие сервисы гораздо менее представлены.

Российские научно-образовательные сети используют в основном два внешних соединения, одно из них уже упоминавшийся 622 Mbps канал

RUNNet в NORDUnet, другой построено RBnet в рамках проекта MIRNet, поддержанного грантом NSF. Это два потока до США пропускной способностью 155 Mbps плюс, сданный в конце лета 2003 года, поток 622 Mbps до GEANT. Суммарный передаваемый трафик в мае 2003 года я бы мог оценить в 30 TB, что в пересчете на рядового пользователя сети (научного работника) приблизительно на порядок меньше, чем в Чехии. Для российской провинции это соотношение еще хуже. Что касается внутри российских каналов, связывающих основные региональные узлы, то здесь только-только наметился переход на технологии синхронной передачи данных - SDH уровня STM1 (155 Mbps). Такие подключения получили Екатеринбург и Новосибирск, которые используют полосу в 65 Mbps внутри более широкого STM1 канала. Пропускную способность в 45 Mbps получили узлы в Самаре, Нижнем Новгороде, Ростове и т.д.

Региональные сети представляют собой, как правило, комбинацию оптоволоконных технологий, радиоканалов и привычных физических линий связи. На этом фоне кроме Москвы и С. Петербурга выделяются города Новосибирск, Екатеринбург, Ростов на Дону и Самара, построившие каждый оптоволоконные магистрали общей длиной порядка ста километров. В Самаре осуществляется проект построения гигабитной магистрали Самара-Тольятти (130 км) на базе арендованного оптоволоконного кабеля (dark fiber). Дополнительно следует отметить следующие особенности российских сетей. Во-первых, это большая доля внутри российского трафика, приблизительно 60%. В Европе только Германия имеет около 40% внутреннего трафика. Во-вторых, большую долю ~85% HTTP трафика, что свидетельствует о неразвитости Интернет-приложений в России.

Для управления всей сетевой инфраструктурой, планирования ее развития, научных приложений на ее основе, решения финансовых вопросов национальные научно-образовательные сети создали ассоциацию TERENA со штаб квартирой в Амстердаме. Эта организация управляется генеральной ассамблеей, в которую входят представители национальных сетей,

международных организаций (CERN, ESA, ...), ассоциативных членов (CISCO, DANTE, IBM, NORDUnet, ...), а также ЕЭС. Повседневную организацию деятельности осуществляет персонал порядка 10 человек под руководством исполнительного комитета.

**Рис. 1.1.2. Схема российской научно-образовательной сети из доклада на TERENA 2003 [91].**



Организации, члены TERENA, выплачивают ежегодные взносы, варьирующиеся от величины страны от 5 тысяч до 80 тысяч евро. К сожалению, Россия не входит в эту организацию.

TERENA определяет техническую программу, и для решения важнейших задач создает рабочие группы (Task Forces), например, TF-NGN (New Generation Network) по новым поколениям сетей. Эта рабочая группа занимается выбором технологии для нового поколения сетей, соответствующего оборудования и его тестирования. Среди важнейших

задач, решаемых при помощи технической программы, следует отметить развитие высокоуровневых IP-приложений (QoS, IPv6, MPLS), GRID проекты (JIVE), LDAP сервисы и т.д. В рамках этих рабочих групп ведется постоянное обсуждение средствами Интернет, и кроме этого, они собираются вместе по несколько раз в год. Финансирование подобной деятельности осуществляется за счет грантов ЕЭС, выделенных по шестой рамочной программе “Технологии информационного общества”. Среди выполняемых в настоящее время проектов можно выделить SERENATE (Study into European Research and Education Networking As Targeted by eEurope), SCAMPI, ...

Ежегодно TERENA проводит свою конференцию, где представлены все важнейшие результаты в области телекоммуникаций, и которую по праву можно считать центральным европейским событием в области информационных технологий. Около десяти лучших работ по итогам конференции публикуется в журнале Computer Networks. Традиционная тематика докладов включает

- обзоры состояния научно-образовательных телекоммуникаций в целом по США, Европе и ее отдельных странах;
- доклады от ведущих сетевых компаний-производителей о новейших технологиях;
- результаты текущих исследований, ведущихся в Европе;
- специальные секции для организации новых направлений в исследованиях;
- отчеты по финансируемым ЕЭС проектам.

Тематика европейских сетевых исследований сфокусирована в областях мониторинга сети и важнейших приложений, тестирования новейших сетевых технологий, информационной поддержки научных исследований и пользователей сети, интерпретации статистических результатов. Разработка новых стандартов, фундаментальные исследования, включая построение аналитических моделей, новых сетевых приложений и т.п., по-прежнему ведутся в США, что явно видно из программ конференций. Но если в

Анталье, 2001 году, 2/3 из общего количества докладов (80% пленарных) приходилось на исследователей из США, то в этом, 2003 году, 80% докладов представлены европейскими специалистами [52]. Следует отметить и значительный, почти двукратный, рост количества докладов и расширения их тематики и географии авторов. Россия с 1998 по 2004 год включительно была представлена тремя секционными докладами [64, 82, 91], последний из них рассказывающий о телекоммуникационной инфраструктуре российского образования и подготовленный руководителями Информики, что чрезвычайно мало.

[123]



## The history

- **history of European research networking is characterised by trying to keep up with developments in North America**
- **e.g., continental backbone:**

Period	Most performant Data Link technology available	Technology available in pan-European network	Technology available in United States network
1991 - 1995	34/45 Mbps PDH	2 Mbps PDH	45 Mbps PDH
1996 - 1997	155 Mbps SDH	45 Mbps PDH	155 Mbps SDH
1997 - 2000	622 Mbps SDH	155 Mbps SDH	622 Mbps SDH
2000 +	10 Gbps DWDM	10 Gbps DWDM	2.5 Gbps DWDM

Вернемся теперь к российской ситуации, где управление сетью осуществляется административно, причем данные функции разделены между двумя министерствами: науки и образования. При этом никакой общественной организации и демократической процедуры принятия решений нет, решение о топологии сети и пропускной способности региональных

каналов принимаются чиновниками. Вследствие этого, среди научно-образовательных сетей и на федеральном, и на региональном уровне существует дублирование и конкуренция. Среди крупных федеральных сетей можно выделить RBNet, RUNNet с двумя центрами в Москве и С.-Петербурге и сеть РАН, конкурирующие между собой.

Это приводит к ряду отрицательных следствий, так Россия до сих пор не входит в TERENA и не подключена к GEANT, во многом благодаря тому, что не определено, кто должен ее представлять. Встает вопрос: а какая организация могла бы взять на себя координационные функции по развитию телекоммуникационной инфраструктуры науки и образования в России? В ассоциации RELARN, объединяющей организации - пользователей услуг научно-образовательных сетей, очень маленький организационный взнос, большинство ее членов – отдельные школы, ВУЗы и голос крупных федеральных и региональных сетей будет потерян. Наверное, необходима новая организация, объединяющая все заинтересованные стороны, со значительными организационными взносами и правом совещательного голоса при принятии решений в области своей компетенции. Публичное обсуждение проектов позволит значительно улучшить их качество и отсеять излишние затраты. В рамках такой ассоциации могло бы быть организовано тестирование оборудования, сетевых протоколов и приложений, перспективные направления исследований.

Следующая проблема, которая срочно ждет своего решения – это оптимизация внешних каналов российского научно-образовательного пространства. На самом деле ситуация была до лета 2003 года перекошена - основной российский канал организован в Америку, канал же к NORDUNet (не к GEANT) скорее региональная инициатива, а не вхождение в Европейское научно-образовательное научное пространство. Что касается выхода к дальневосточным сетям (прежде всего Японии и Китаю), то тут не просматривается даже переговорного процесса. А эти каналы, также как и широкий канал (не менее 45 Mbps) до Хабаровска, жизненно необходимы.

Для обсуждения всего спектра вопросов в области информационного сопровождения науки и образования необходима организация специализированного периодического издания, которого, к сожалению, еще нет в России. Я сам несколько раз сталкивался с ситуацией, когда статьи по сетевой тематике не подходят для существующих академических журналов, например, “Программирования”, а их публикация возможна только в изданиях, предназначенных для широкого круга читателей. При этом ряд существенных моментов, связанных с аналитическим обоснованием, равно как и список цитированной литературы опускаются. В то же время поток российских публикаций по сетевой тематике увеличился приблизительно в три раза за последние три года. Такой журнал должен в первую очередь публиковать лучшие работы трех ведущих ежегодных российских конференций “Научный сервис в сети Интернет”, “Телематика”, “RELARN”. В заключение данного обзора мне бы хотелось отметить еще одну существенную область, где отставание России просто катастрофическое. Это производство собственного сетевого оборудования: маршрутизаторов, коммутаторов, DWDM и SDH транспорта, оборудования для Интернет приложений и сотовых сетей. Мы ограничены низкокачественным оборудованием уровня STM1 (155 Mbps, Морион) и маршрутизаторами E1 (NGN), при современных скоростях 40 Gbps. Китай же стремительно ворвался на этот рынок и не просто смог произвести данное оборудование под чужой торговой маркой, но и занять значительную долю рынка со своими собственными разработками (Huawei).

## **1.2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНЫХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Начало нового тысячелетия ознаменовалось переходом российской транспортной инфраструктуры на цифровые каналы верхних уровней цифровой иерархии. Если в конце 90-х годов двадцатого века для межрегиональных связей в основном использовались потоки E1, то сейчас

пропускная способность магистральных каналов возросла до нескольких десятков мегабит в секунду.

Таким образом, ситуация с острой нехваткой доступа к информационным ресурсам в российской провинции была преодолена. Но для предотвращения такой ситуации в дальнейшем необходим анализ состояния транспортной инфраструктуры и прогнозирование развития региональных научно-образовательных сетей, составление их рейтинга, чему и посвящен данный раздел, основанный на работе [27].

В основу анализа положены данные за март 2004 года, полученные с маршрутизаторов сети RBNNet (Russian Backbone Network). Эта сеть отвечает за подключение магистральных узлов внутри России и за значительную часть международных каналов. Она охватывает более 50-ти регионов Российской Федерации, среди поддерживаемых протоколов IPv4, IPv6, IP MPLS, Multicast, ATM. Развиваются сервисы по поддержке VPN и региональных точек обмена трафиком.

Остальные российские научно-образовательные сети и, прежде всего, RUNNet, FreeNet, сеть ЦНТК РАН используют RBNNet в качестве транзитной сети для пропуска трафика из региональных сетей к своим центральным узлам, расположенным в Москве и С. Петербурге. Поэтому практически весь региональный трафик проходит через маршрутизаторы RBNNet, и учитывался при составлении нашего рейтинга. Следует отметить, что попытки построить рейтинги сетей предпринимались и ранее сотрудниками НИИ механики МГУ [56], однако в их основу был положен другой принцип, а именно количество зарегистрированных в DNS рабочих мест. В настоящее время многие крупные сети организаций используют в целях безопасности только несколько реальных IP адресов, поэтому генерируемый трафик является наиболее объективной оценкой сети.

Анализ состояния начнем с международных каналов RBNNet, которые разветвляются из точки присутствия в Стокгольме, куда из Москвы

инсталлирован канал пропускной способностью 622 Mbps. Международные каналы покрывают четыре направления:

1. В сеть Star TAP/ StarLigh, точка входа в сеть Чикаго, пропускная способность канала 155 Mbps.
2. Сеть GEANT, Европейская научно-образовательная сеть, со шлюзом в Стокгольме пропускной способностью 155 Mbps.
3. Два канала по 155 Mbps в общедоступный Интернет (commodity internet).

**Таблица 1.2.1. Международный трафик RBNNet**

Международные каналы	Средняя скорость		Ежемесячный трафик	
	<i>in</i> <i>Mbps</i>	<i>out</i> <i>Mbps</i>	<i>in</i> <i>TB</i>	<i>out</i> <i>TB</i>
Стокгольм – Чикаго	11	4	3.3	1.2
GEANT	23	16	6.9	4.8
Commodity Internet - 1	64	100	19.2	30
Commodity Internet - 2	62	100	18.6	30
Итого	160	220	48.0	66.0

Среди других каналов, соединяющих российские научно-образовательные сети с зарубежными сетями, следует отметить канал RUNNet в NORDUNet [91]. Это сеть, объединяющая научно-образовательные сети стран Северной Европы и предоставляющая шлюз в GEANT.

Данные по загруженности каналов внешних каналов RBNNet сведены в Таблицу 1.2.1.

При анализе трафика следует отметить сравнительно невысокую загрузку каналов ведущих в научно-образовательные сети и тот факт, что из этих сетей российские исследователи получают больше информации, чем потребляют. Для каналов, ведущих в общедоступный Интернет ситуация совершенно противоположна: она характеризуется предельно высокой загрузкой каналов (~ 65% при допустимой величине в 50% [62]). Кроме этого, более полутора лет с конца 2002 года исходящий трафик превосходит входящий.

Данные по загруженности внутри российских каналов представлены в Таблице 1.2.2.

Магистральные узлы сети расположены в порядке убывания нагрузки. К каждому из магистральных узлов присоединены другие направления. Так, например, данные по Новосибирску включают трафик на Омск, Томск, Кемерово, Иркутск и Хабаровск. Однако ширина подобных исходящих каналов, как правило, значительно меньше, чем канал на Москву. Исключение составляет узел в Нижнем Новгороде, больше половина трафика которого уходит транзитом в Казань. Общая емкость канала состоит из трех составляющих:

- квоты, которую выделяет Министерство образования для своих учреждений,
- квоты РАН и
- той части трафика, которую региональные сети докупают самостоятельно.

В результате оценки трафика, который потребляется региональными сетями, можно составить следующий оценочный рейтинг российских региональных научно-образовательных сетей (см. Таблицу 1.2.3).

При построении данного рейтинга использовались следующие предположения и результаты. Согласно исследованиям НИИ механики МГУ [56] поведение пользователей в сети описывается нормальным распределением, то есть можно ввести понятие среднего пользователя или

рабочего места. По нашей оценке, средний ежемесячный трафик одного рабочего места (РС в локальной сети) составляет примерно 800-1000 Мб, на одного исследователя (научного сотрудника или преподавателя) приходится 400-500 Мб, на студента 50-100 Мб трафика. Исходя из этого, и вычислены параметры, приведенные в Таблице 1.2.3.

**Таблица 1.2.2. Трафик на магистральные узлы Интернет (март 2004)**

Узел	Емкость канала	Средняя скорость		Ежемесячный трафик	
		<i>in (Mbps)</i>	<i>out (Mbps)</i>	<i>in (TB)</i>	<i>out (TB)</i>
Новосибирск	63	35	29	10.5	8.7
Екатеринбург	51	21	20	6.3	6.0
Самара	45	20	16	6.0	4.8
Нижний Новгород	45	15	11	5.0	3.3
Ростов	45	13	7	3.9	2.1
Ярославль	10	6.5	4	2.0	1.2
Итого	259	110.5	87	33	26
Казань – Ниж. Новгород	22	11.4	4.6	3.4	1.4
Новосибирск - Хабаровск	4	2.1	1.9	0.7	0.6

Данные по каналу Ростов – Краснодар не представлены

Кроме вышперечисленного, статистические данные RNet позволяют сделать целый ряд дополнительных оценок. Если известен входящий внешний трафик, который с учетом канала RUNNet не превысит 60 TB, то легко оценить трафик всех научно-образовательных сетей РФ. Внешний трафик составляет от 30 до 40% от общего объема [17, 36], следовательно, общий трафик должен варьироваться в пределах 150-200 TB в месяц. Следовательно, провинциальные российские сети потребляют не более 20% информационных ресурсов, что достаточно мало. Рост этой доли трафика

должен сопровождаться расширением пропускной способности инфраструктуры внутри федеральных округов РФ.

**Таблица 1.2.3. Рейтинг регионов (оценка, без Москвы и С. Петербурга)**

Регион	Число компьютеров в сети	Пользователи	
		Научные сотрудники	Студенты
Новосибирск	15 000	6 - 12 000	40 – 80 000
Екатеринбург	10 000	6 – 10 000	30 – 60 000
Самара	7 000	3 – 6 000	20 – 50 000
Казань	6 000	3 – 5 000	20 – 45 000
Ростов	4 000	2 – 4 000	15 – 30 000
Ярославль	2 000	1.5 – 3 000	10 – 15 000
Нижний Новгород			
Краснодар			

### **1.3. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Известно, что со времен Великой Отечественной войны Куйбышев (а теперь Самара), как резервная столица страны, стал одним из наиболее значительных центров телекоммуникаций СССР, а затем и России [53]. Этому способствовало и географическое положение города - на пересечении магистралей, соединяющих южные и северные районы европейской части России, а также западные области с Сибирью и Средней Азией.

К концу 80-х годов прошлого века наша страна значительно отстала в развитии услуг связи. В то время как весь остальной мир перешел на цифровые стандарты и практически создал единую цифровую сеть, в России

не было ни федеральной транспортной оптоволоконной сети, ни цифровой телефонной связи в крупных городах, ни сотовых сетей связи. В первой половине 90-х годов в стране начал осуществляться проект 50\*50. Проектом предусматривалась прокладка 50 тыс. км оптоволоконных линий связи и установка 50 новых цифровых телефонных станций в крупнейших городах страны. Основные компоненты этой программы - новые телекоммуникационные узлы: международные цифровые АТС в Самаре, Екатеринбурге, Новосибирске, Хабаровске, Ростове с узлами автоматической коммутации каналов (УАК) в дополнение к трем существующим в Москве (М9, М10) и Санкт-Петербурге.

Узел в Самаре с междугородной телефонной станцией производства компании Siemens, включая цифровую линию связи до Москвы, был запущен в эксплуатацию в июле 1997 г. На первом этапе построения магистральной сети вышеупомянутые узлы были связаны цифровой радиорелейной линией (ЦРЛ) на базе оборудования компаний Siemens - на европейском участке и NEC - на азиатском. В настоящее время вдоль этой трассы по европейской и западносибирской территории проложен оптоволоконный кабель с разводкой до большинства областных центров. На втором этапе "Ростелеком" запустил SDH-сеть уровня STM-16 с узлом на территории Самарской области в населенном пункте Шигоны на базе оптоволоконного кабеля и вывел радиорелейную линию в резерв.

### **Магистральные транспортные сети**

В настоящее время большинство городов Поволжья и Южного Урала уже получили цифровые потоки. Это Тольятти, Ульяновск, Уфа, Челябинск, Казань, Пенза и пр. После пуска волоконно-оптической SDH-магистрали в регионе в течение 1998--2000 гг. у "Ростелекома" не было проблем с выделением для аренды цифровых потоков. К 2001 г. эти мощности на некоторых направлениях оказались заполненными полностью (например, арендовать поток E1 до Новосибирска было проблематично). В отличие от Северо-Запада России и большого Московского региона на восточном

участке цифровой магистрали (от Рязани и далее) реальной конкуренции "Ростелекому" не было до лета 2001 г. Такая ситуация приводила к ряду отрицательных последствий.

В 2000 г. в Самаре пришли альтернативные оптоволоконные линии связи. Так Приволжская железная дорога (в лице дочерней компании "ВолгаТрансТелеком") сдала оптоволокно на участке Самара-Саратов и далее - до Волгограда и Астрахани. В первой половине 2001 г. Министерство путей сообщения (МПС) получило независимый выход до Москвы по главному ходу Куйбышевской ЖД по трассе: Самара-Сызрань-Пенза-Рязань-Москва. На базе этой линии "Транстелеком" построил собственную цифровую магистраль с использованием мультиплексоров компании Lucent Technologies.

В Самаре работает дочерняя структура "Транстелекома" - "СамараТрансТелеком", которой переданы функции по обслуживанию SDH-магистрали и работе с клиентами. Летом 2001 г. магистраль SDH была сдана Госсвязьнадзору и пущена в эксплуатацию. Сейчас эти мощности практически выбраны, как это было у "Ростелекома" два года назад. Но если в настоящее время "Ростелеком" уже построил и сдал DWDM-магистраль на участке Самара--Москва, используя оборудование компании Huawei, то "Транстелеком" только еще планирует такое строительство, и его начало может быть задержано в связи с реструктуризацией МПС.

Следует отметить, что "Транстелеком" осуществляет кольцевое резервирование потоков из-за особенностей прокладки оптоволоконного кабеля (высокий риск его повреждения), что отличает это предприятие от "Ростелекома". Кроме того, "Транстелеком" является единственной компанией, использующей оптоволоконный транспорт от Санкт-Петербурга до Владивостока. "Ростелеком" половину этого расстояния покрывает за счет радиорелейных линий в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

После пуска DWDM-магистрали в Самаре (точнее, в Шигонах) "Ростелеком" смонтировал опытный узел мультипротокольной сети на базе

маршрутизатора Cisco 12xxx. В Самаре же, в помещении Поволжского филиала "Ростелекома" (другое его название - ТЦМС 5, т. е. территориальный центр междугородной связи и телевидения № 5), запущен мощный региональный узел передачи данных, который поддерживает все современные протоколы (SDH, Frame Relay, ATM). Дочерней компанией, обслуживающей эти узлы в Самарской области, является "РТ-центр".

Работающие в Самарском регионе операторы связи как один из вариантов прорабатывали возможность аренды спутниковых каналов в города Европы, минуя Москву и Санкт-Петербург. До лета 2000 г. существующие спутники в Ku-диапазоне не позволяли получать нужную энергетику луча в Самаре по технологии VSAT на антенне диаметром меньше 3,5 м [51]. Построенные в то время спутниковые терминалы работали в C-диапазоне и использовали приемные устройства диаметром более 6 м. Ситуация изменилась с запуском SeSat, EutelSat W4 (36 E) и EuroStar 1 (45E). Теперь для уверенного приема и передачи достаточно 1,2-метровой тарелки. Однако подобные услуги почти на порядок дороже услуг наземной связи.

В ближайшей перспективе цифровые линии связи могут быть запущены другими ведомствами, строящими собственные оптико-волоконные линии связи. Это, прежде всего, "Транснефть" и "Трансгаз". Но указанные организации, несмотря на высокие темпы реконструкции собственных трубопроводов и сопутствующей инфраструктуры, до сих пор не имеют выхода к Москве.

### **Зоновая транспортная сеть**

В 2002 г. Самарский филиал (далее СФ) "ВолгаТелеком" (бывшее АО "Связьинформ" Самарской области) начал работы по построению собственных внутриобластных волоконно-оптических линий связи. До этого модернизации зонной сети связи уделялось мало внимания, для организации цифровых потоков брались в аренду свободные темные пары в магистральном волоконно-оптическом кабеле "Ростелекома". До конца 2002 г. было проложено около 300 км оптики, и основные районные центры

восточной и северной части области получили цифровую связь. На участках Сызрань-Тольятти, Тольятти-Самара пока используются возможности «Ростелекома». При прокладке волоконно-оптических кабелей возникли значительные трудности с землеотводом, а также с переходом крупных рек области, и в первую очередь, реки Волга.

Куйбышевская железная дорога также имеет возможности по организации цифровых внутриобластных каналов связи в Самарской области. В зону охвата входят города и районные центры Тольятти, Сызрань, Новокуйбышевск, Чапаевск, Жигулевск, Кинель, Отрадный, Октябрьск, Кинель-Черкасы, Похвистнево и др., что во многом перекрывает возможности компании "ВолгаТелеком".

ООО "Полюс" построило на этой базе и в июне 2003 г. сдало в эксплуатацию кольцевую цифровую сеть связи уровня STM-16/1 с узлами STM-16 в Самаре, Тольятти, Сызрани и Чапаевске. Основные узлы STM-16 расположены в городах Новокуйбышевске, Октябрьске и Жигулевске, а также на станциях Безымянка, Куромоч, Переволоки, в пос. Новосемейкино и т. д. Во многих из этих населенных пунктов уже смонтированы шлюзы в городские сети. Планируется развитие данной магистрали с установкой до конца 2003 г. новых узлов в промзонах Центрального и Автозаводского районов г. Тольятти, на ул. Товарная в Самаре, в аэропорте Курумоч, пос. Прибрежный, Смышляевка и т. д.

### **Сотовые операторы**

В Самарской области действуют несколько сотовых телефонных сетей.

Исторически первая из них "Би Лайн. Самара" на начальном этапе работала в стандарте AMPS. От других сетей, объединенных под общероссийской торговой маркой "Би Лайн", она отличается тем, что головная компания в Москве получила контрольный пакет акций (50,5%) только в конце 2002 г., в процессе развертывания сети GSM. Сетью до сих пор управляют самарские менеджеры. В настоящее время сеть GSM900/1800 работает по лицензии центральной компании. Ожидается, что окончательная конфигурация сети

GSM с зоной покрытия практически всей территории области будет запущена к концу 2003 г.

"Самарский Радиотелефон" - один из филиалов СФ "ВолгаТелеком" - предоставляет услуги в устаревшем стандарте NMT450. О дальнейшей модификации сети и планах ее перехода на стандарт CDMA450 пока ничего не известно.

ЗАО "Смартс" является первой самарской компанией, начавшей оказывать услуги в стандарте GSM 900/1800. Действие лицензии компании распространяется на все Поволжье и ряд регионов Центрального и Уральского округов. Компания "Смартс" - четвертая в России по числу абонентов (порядка миллиона) и крупнейшая среди региональных операторов сотовой связи. Пока это единственная компания, которая имеет собственный коммутатор в г. Тольятти. "Смартс" начала активную экспансию в проводную телефонию; так, ей сейчас принадлежит контрольный пакет акций компании "СамараТелеком".

С 2001 г. на рынке появилась новая компания, получившая лицензию на работу в стандарте GSM 900/1800: ОАО "МСС-Поволжье" под торговой маркой "МегаФон". Это наиболее динамично развивающийся оператор связи, уже перегнавший по числу абонентов в Самарской области ЗАО "Смартс" (у "МСС-Поволжье" их более полумиллиона). На сегодня сеть "МСС-Поволжье" имеет самую большую зону приема и присутствует во всех райцентрах области.

Самарский филиал МТС еще только приступил к развертыванию своей сети. Ее первый фрагмент планируется запустить в декабре 2003 г. Самым большим препятствием на пути проникновения компании на рынок является дефицит частот, которые полностью распределены на первичной основе между другими участниками рынка.

Одна из основных проблем развития сотовых сетей связи в регионе - недостаток городских номеров в Самаре при существующей шестизначной их нумерации.

## **Проводная телефония**

Ситуация на рынке проводной связи в Самаре и Тольятти характеризуется усиливающейся конкуренцией между многочисленными операторами связи, имеющими соответствующие лицензии. Только фирм, работающих на телефонном рынке, насчитывается более 30.

Отдельно среди них следует упомянуть о СФ "ВолгаТелеком", объединяющем структуры, прежде входившие в областное управление связи, - городские телефонные сети и районные узлы связи, междугороднюю телефонную станцию, Самарский телеграф и его отделения. В сентябре 2001 г. для выполнения решения "Связьинвеста" о создании укрупненной компании в Приволжском федеральном округе было заменено руководство этого оператора связи. Основной задачей нового руководства компании стало возвращение ей монопольного положения на рынке.

Но к этому времени в Самаре и Тольятти начали работать независимые операторы связи, построившие свои собственные узловые АТС. К новым операторам связи, занявшим значительную долю рынка в Самаре, относятся компании "СамараТелеком", "Самарасвязьинформ" и "СамТелеком".

ЗАО "СамараТелеком" эксплуатирует седьмой узел связи, построенный на базе блока 5ESS фирмы Lucent. К нему подключены все АТС, номера которых начинаются на 7. Среди пользователей городских номеров значительную долю составляют сотовые компании, другие операторы связи, крупные промышленные и финансовые учреждения, но в настоящее время ресурс этих номеров практически исчерпан. ЗАО "СамараТелеком" поставило себе цель развивать цифровые услуги связи. Оно построило в Самаре альтернативную основному оператору транспортную сеть уровня STM-16; развернуло мультипротокольную сеть, на которую опираются узлы коммутируемого доступа в Интернет, IP-телефонии, ADSL-доступа и т. д.

Другая крупная частная телефонная компания - АО "Самарасвязьинформ" эксплуатирует четвертый узел связи. Довольно большое внимание эта

компания уделяет работе с населением. Среди ее клиентов - операторов связи следует выделить "Би Лайн. Самара" и интернет-провайдера "Крафт-С".

Третьим независимым узловым оператором является ООО "СамТелеком", которое выкупило узловую АТС 22 и сдало в эксплуатацию станцию Alcatel с мощным центральным процессором (АТС 24). Компания "Интертелеком" из той же группы компаний, что и "СамТелеком", участвовала в строительстве еще одной альтернативной транспортной сети. Однако недостаток межстанционных связей (по сравнению с существующими нормами) затрудняет развитие сети "СамТелеком" и ухудшает качество связи.

Среди небольших телефонных компаний в середине 90-х годов прошлого столетия выделялось дочернее предприятие газовиков "ВолгоГазТелеком". Оно первым среди независимых операторов проложило альтернативное оптоволокно вдоль старой части города, смонтировало несколько цифровых мини-АТС - в основном для своих корпоративных пользователей. Но к настоящему времени предприятие снизило темпы развития.

Небольшие телефонные компании "СамараТелепорт", "Инфонет", "Самарский Меркурий" и др. специализировались на привязке к существующей телефонной сети мини-АТС, часто электронных российского производства. Компании этой группы наиболее рискованные и часто разоряются или перепродаются, что является одним из реальных путей вхождения на рынок сторонних инвесторов.

В то же время федеральные операторы связи, такие, как "Голден Телеком", "Коминком", Equant, нацелены на инсталляцию небольших АТС и узлов мультипротокольной сети, чтобы занять долю на рынке междугородной телефонной связи, обслуживания корпоративных клиентов и Интернет-услуг. Здесь можно отметить компанию Equant, покрывшую территорию города транспортной сетью на основе собственного оптоволокна, проложенного вдоль трамвайных и троллейбусных путей.

В Тольятти, кроме основного оператора, представленного городским узлом электросвязи, действуют независимые телефонные компании, в том числе и

два узловых оператора. Одним из них является ЗАО "АИСТ", владеющее узловой станцией на базе оборудования Ericsson. Среди акционеров компании Европейский банк реконструкции и развития. ЗАО "АИСТ" построило собственную транспортную сеть (более 40 узлов SDH) на базе подвесного волоконно-оптического кабеля.

Другой оператор - тольяттинский филиал ЗАО "СамараТелеком" эксплуатирует четвертый узел связи, построенный на базе блока 5ESS фирмы Lucent. Однако сеть этой компании в Тольятти развита не так сильно, как в Самаре. В частности, нет общегородской транспортной сети SDH. Перспективы бизнеса тольяттинского филиала "СамараТелеком" связаны со строительством нового, девятого телефонного узла.

В Тольятти работают еще несколько достаточно крупных телефонных операторов, сделавших ставку на построение районных АТС (на 10 тыс. номеров). Это ООО "Инфолада", построившее разветвленную волоконно-оптическую сеть и установившее цифровые телефонные станции не только в Тольятти, но и в Самаре, Ульяновске и Жигулевске. Другой телефонный оператор - ООО "Леткон" тоже владеет районными АТС и развитой SDH-сетью. Особо стоит сказать о муниципальном унитарном предприятии "Производственное объединение жилищно-коммунального хозяйства" (МУП "ПО ЖКХ"). Оно, как представитель мэрии, претендует на оформление в собственность городской телефонной канализации и отстояло в суде против СФ "ВолгаТелеком" право на ряд объектов недвижимости, в которых работают предприятия связи.

Нелишне отметить, что благодаря конкуренции среди операторов в Тольятти практически отсутствует очередь на установку домашнего телефона, причем цена на установку достаточно низкая - до 10 тыс. р. с возможностью рассрочки платежей. Львиная доля новых телефонных номеров была предоставлена независимыми операторами связи. В Самаре же ситуация иная: заявок на установку телефона более 100 тыс., а цены доходят до 25 тыс. р. На мой взгляд, такое положение обусловлено позицией руководства СФ

"ВолгаТелеком", которое вовремя не заказало проект перехода на семизначную нумерацию и пытается монополизировать рынок связи, отказавшись от сотрудничества с независимыми операторами.

### **Услуги передачи данных, включая услуги Интернет**

Первый канал Интернет на Самару был запущен только в 1995 г. [47] - значительно позже, чем в других городах - областных центрах и даже в Тольятти. С тех пор ситуации сильно изменилась.

Обзор Интернет-провайдеров хотелось бы начать с критериев, по которым они оцениваются. В настоящее время главным из них является число абонентов (преимущественно по коммутируемому доступу), однако он не отражает точного финансового и технического состояния оператора. Поэтому я бы на первое место поставил объем трафика, продаваемого оператором связи, а на второе - максимальное число рабочих мест, с которых можно одновременно работать через его сеть.

На сегодня лучшие внешние каналы имеют "СамараТрансТелеком", "Коминком", Equant и представители "Ростелекома" - "РТ-центр" и "СамараИнтернет", а также некоммерческий оператор Самарский научный центр Российской академии наук (СНЦ РАН) [37]. Все остальные провайдеры подключены к этим первичным операторам.

На базе проложенных волоконно-оптических кабелей связи в Самаре, Тольятти, Сызрани, Новокуйбышевске, Жигулевске и других городах созданы многочисленные транспортные сети, о которых частично уже шла речь. Следует отметить, что городские транспортные сети все чаще используют технологию Ethernet, хотя значительная их часть работает в стандарте SDH и даже PDH.

Перечислим владельцев SDH-сетей еще раз. В Самаре это СФ "ВолгаТелеком", ЗАО "СамараТелеком", Equant, "Интертелеком", в Тольятти - СФ "ВолгаТелеком", "АИСТ", "Леткон", "Инфолада". Кроме того, в Тольятти ЗАО "Инфопак" эксплуатирует городскую сеть Gigabit Ethernet с поддержкой механизмов качества обслуживания (QoS), а в Самаре "Опти-

Телеком", "Радиант" и научно-образовательная сеть под эгидой СНЦ РАН - сети Fast Ethernet. Естественно, что крупные телефонные компании, такие, как СФ "ВолгаТелеком", "СамараТелеком", "АИСТ", имеют в своем составе большие подразделения, занимающиеся передачей данных.

Лидеры по числу коммутируемых входов в Самаре - "Крафт-С", "СамараТелеком", СФ "ВолгаТелеком" и "СамараИнтернет". В Тольятти же это компании "Инфопак" и "Атака высоких технологий". В области беспроводной связи заметны "СамараИнтернет" и "БиЛайн. Самара". "Самарский телеграф" (входит в СФ "ВолгаТелеком") - единственное предприятие, которое имеет сеть доступа (маршрутизаторы) во всех районах области. Им смонтированы каналы, как минимум, по 33,6 Кбит/с, а наиболее важные города и районные центры (Тольятти, Сызрань, Новокуйбышевск, Жигулевск и т. д.) подключены по цифровым каналам.

Хотелось бы также кратко обрисовать состояние дел с телекоммуникационными услугами на базе протоколов TCP/IP, такими, как IP-телефония, мультимедийные приложения и создание корпоративных сетей, а также с развитием широкополосного доступа в жилых домах и офисных центрах. IP-телефония широко распространена и в Самаре, и в Тольятти, и для новых операторов выход на рынок осложнен. Создание корпоративных сетей представляет собой очень перспективный рынок, но он находится в начальной стадии развития. В Самарской области многие организации имеют распределенные офисы и нуждаются в их объединении современной телекоммуникационной инфраструктурой. Прежде всего, подобные планы вынашивает ОАО "АвтоВаз", предполагающее связать своих поставщиков и дилеров единой информационной сетью. На мой взгляд, строительство локальных сетей на базе протокола Ethernet в офисных центрах и престижных новостройках предпочтительнее подключения по технологиям xDSL в силу более высокой скорости и лучшей масштабируемости [49].

О собственных планах развития Интернет в жилой зоне объявили кабельные телевизионные сети, которые в настоящий момент практически не развиты в Самаре и только-только получили необходимые лицензии. Это ассоциация "Телеинфо" (кабельно-эфирное ТВ) и Самарские кабельные сети (оптиково-волоконные и коаксиальные сети), дочерняя структура пейджинговой компании АДВК. В то же время в Тольятти уже успешно действуют три кабельные сети, есть они и в Новокуйбышевске, Жигулевске, Сызрани.

### **Дальнейшее развитие сетей связи**

Перспективное направление развития телекоммуникационного рынка Самары, Тольятти, Сызрани и других городов нашего региона заключается в создании магистральных городских телефонных узлов. Если в Тольятти имеется еще один незаполненный индекс шестизначной нумерации (100 тыс.) и возможно включить соответствующий узел в существующую телефонную сеть, то в Самаре все индексы заняты и стартовал переход на семизначную нумерацию. Сейчас имеется возможность установить новый узел, зарезервировав за собой миллионную номерную зону. Поиск инвесторов ведется, проект «Гипросвязи», как ожидается, будет выполнен к началу 2004 г.

Следующее перспективное направление бизнеса связано с построением магистрального канала Интернет в Тольятти. В отличие от Самары в Тольятти до сих пор не пришел ни один широкополосный канал (со скоростью большей, чем 34 Мбит/с). Провайдеры в лучшем случае имеют несколько 2-Мбит потоков, по каждому из которых умудряются пропускать до 600 Гбайт трафика ежемесячно. Объяснение этому видится в недостатке магистральных каналов, а точнее, в их дороговизне. Ведь до лета 2003 г. цифровые потоки до Тольятти можно было арендовать только у "Ростелекома" или СФ "ВолгаТелеком". Магистральные каналы Интернет на основе первичных цифровых трактов необходимы и до других городов области.

В заключение хотелось бы отметить, что автор построил свой обзор на основе личных контактов с персоналом телекоммуникационных компаний и не претендует на истину в последней инстанции. Так как ситуация в отрасли постоянно изменяется, то отдельные интересные проекты могли не найти отражения в данной статье.

#### **IP-услуги в Самарском регионе (данные на 1 ноября 2003 г.)**

- Общий объем рынка IP-услуг по Самарскому региону, включая Тольятти, порядка 1 миллиона долларов в месяц.
- Число жителей области, регулярно пользующихся сетью Интернет, около 300 тыс. человек.
- Ежемесячный объем трафика порядка 15 Тбайт. Из них на Самару приходится 8-10 Тбайт, на Тольятти - около 4 Тбайт. Отложенный спрос можно оценить в 3 Тбайт.

#### **1.4. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ САМАРСКОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

В этом параграфе мне бы хотелось восстановить хронологию создания Самарской региональной научно-образовательной сети и основных действовавших лиц той поры.

В 1993 году, когда автор окончил аспирантуру в Москве и вернулся в Самару, для продолжения исследовательской работы потребовалась электронная почта, к которой автор уже успел привыкнуть. В Самаре к тому времени уже действовал узел «блик», филиал Тульского оператора. Он базировался в здании старой междугородней станции на ул. Полевой и предоставлял так называемые off-line услуги, присоединяясь по телефону «Искра» к Туле. В 1994 году подобный узел появился в аэрокосмическом университете. Это были предвестники Интернет, но они не поддерживали режим реального времени и работали на базе коммутируемых линий связи.

Местные связисты, прежде всего, Самарский телеграф Связьинформа (ныне Самарский филиал Волготелеком), ТЦМС5 Ростелекома, равно как и областные власти, давшие огромные средства «ВолгоИнформСети», ныне сменившей хозяев, сделали ставку на развитие сетей протокола X.25, в то время представленного сетью Роспак.

Летом 1993 году мне удалось подключить к узлу «блик» Самарскую государственную сельскохозяйственную академию, к которой я присматривался недолгое время после защиты кандидатской диссертации. Там мне сильно помог проректор по учебной работе (ныне проректор по информатике) Мясников Борис Николаевич. К концу 1993 года удалось подключиться к системе передачи почты и на родном мне физмате Самарского государственного педагогического университета. Кроме этого, удалось оформить дотацию на эти точки от ассоциации научных и учебных организаций-пользователей сети передачи данных RELARN. Эта деятельность была обобщена в моем докладе на конференции RELARN, сделанном в декабре 1994 года в Москве [46].

К этому времени уже был выделен грант ИНТАС на создание в СНГ сегмента европейской математической сети, проект назывался EmNet/NIS/PhaseII [47, 57]. Для участия в этом проекте необходимо было только ответить на письмо, которое было разослано по электронной и обычной почте всем, кто имел отношение к математике. Таких желающих в Самаре оказалось двое Леонид Фридман, в то время доцент кафедры математики, а затем и профессор, проректор по науке Самарской государственной архитектурно строительной академии и я. Грант был небольшой, но в его рамках можно было получить бесплатное подключение к сети Интернет, правда, в Москве, Президиуме РАН.

Для реализации этого проекта в 1994 году был проведен семинар в Самарском государственном университете (СГУ), проректор по научной работе (ныне декан мехмата) которого Владимир Иванович Астафьев оказал поддержку. Впервые на этом семинаре встретились вместе все участники

первого подключения к глобальной сети. На том семинаре были Андрей Санников, Леонид Чумаков, Бубнов Александр, преподававшие информатику в СГУ. Санников сначала отстаивал позицию организации узла X.25, но быстро согласился с доводами Леонида Чумакова, выпускника МФТИ, знакомого с операционной системой UNIX, и моими соображениями о необходимости узла Интернет.

С этого момента и началась работа по подключению к глобальной сети, финансовую поддержку этой деятельности оказывал только Владимир Астафьев из накладных расходов научных проектов СГУ. Организация канала на Москву заняла около одного года, так как кроме канала Самара-Москва (аналогового) надо было получить еще и частные линии по Москве и Самаре. Еще и сегодня это непростая задача, а в 1994 и 1995 году, да еще сразу и в Самаре, и в Москве! Хорошо еще, что в то время предоставлялись огромные льготы государственным научно-образовательным учреждениям, тариф для которых составлял только 10% от коммерческого тарифа.

Совершенно ясно, что без помощи связистов такую задачу мы бы решить не смогли. И тут нам улыбнулась удача: после нашего с Санниковым визита в ТЦМС5 мы смогли получить бескорыстную поддержку Валентины Евсы, зам. директора по коммерческой работе, и Владимира Дунаева, курировавшего все вопросы по передаче данных. Следует отметить, что их коллеги по отрасли связи скептически относились к данному проекту, и они выслушал немало насмешливых замечаний, как это выяснилось впоследствии.

Тем не менее, к июню 1995 года все проблемы по организации выделенного канала были преодолены, и Леониду Чумакову удалось провести первый сеанс связи с Москвой, Президиумом РАН. В качестве маршрутизатора со стороны Самары выступал персональный компьютер, под управлением операционной системы Linux. К сожалению, из-за низкого качества частных линий в Самаре, не удалось добиться устойчивого качества связи. Бесперебойно линия заработала только с сентября 1995 года, когда был

организован промежуточный узел в помещении ТЦМС5 на Садовой. К этому времени произошла и смена системного администратора сети, им стал Илья Варлашкин, студент мехмата СГУ.

Следует отметить, что Самара, в силу консервативности местного истеблишмента связи, получила первый канал в Интернет значительно позже других центров Поволжья, Казани, Саратова, Нижнего Новгорода. Но ее географическое положение и интеллектуальный потенциал университетского сообщества быстро сделали ее лидером в области научных телекоммуникаций в России. В дальнейшей истории развития сети можно часто употреблять словосочетание «впервые в России». Эта деятельность достаточно широко, в отличие от первых шагов, описана в исследовательской литературе и может стать предметом дальнейших публикаций.

А пока хотелось бы отметить полное отсутствие разговоров о той роли, которую сыграло университетское сообщество, отказывая себе в самом необходимом, в приобщении к современным высоким технологиям.

Еще десять лет назад, когда мы только приступили к строительству Самарской региональной сети для науки и образования, разгорелся спор о месте компьютера в научном исследовании. Мои коллеги отстаивали позицию, что основное предназначение компьютера заключается в математических расчетах. Когда с момента этого спора прошло немногим более трех лет, я задал его участникам простой вопрос: а когда Вы в последний раз использовали компьютер для вычислений? Ни один из моих оппонентов не смог вспомнить ни одного случая компьютерных расчетов, а вот для подготовки и обработки документов компьютер использовался ими повседневно. В настоящее время, в связи с повсеместным распространением глобальной сети, уже мало кто, даже самый закоренелый консерватор, сможет отрицать основное предназначение персонального компьютера – поиск, получение, хранение и обработку информации.

Для того чтобы на своем рабочем месте каждый научный сотрудник, преподаватель или студент получил доступ к глобальной сети с поддержкой наиболее современных сервисов, необходимо проделать огромную работу. Она включает развитие общероссийской магистральной сети для науки и образования, региональных сетей и локальных сетей научно-исследовательских и образовательных организаций, а также учреждений культуры и здравоохранения. Каждый из трех уровней сетевого строительства (федеральный, региональный, локальный) имеет свои особенности. В настоящей работе я сосредотачиваюсь на принципах построения региональных научно-образовательных сетей, которые были сформулированы при создании Самарской региональной сети для науки и образования. Данная сеть была построена с нулевого уровня нашим коллективом, в котором мне посчастливилось играть роль технического руководителя. Так что была возможность воплотить все сформулированные принципы и технические решения в жизнь, и в диссертации рассмотрены эти принципы.

Прежде всего, основой сети должен быть оптико-волоконный кабель, находящийся в собственности научно-образовательных организаций. Прокладка такого кабеля в существующей телефонной канализации и оформление собственности на него в середине девяностых были огромной проблемой. Из-за монопольного положения операторов связи, входящих в холдинг «Связьинвест» (региональные телекомы), получить разрешение на прокладку кабеля, можно было получить с условием, что кабель останется в собственности монополиста. При этом предполагалось, что научно-образовательные сети будут покупать трафик по коммерческим ценам, в лучшем случае, с небольшой скидкой. Выход был найден в виде долевого строительства с частными телефонными компаниями, которые в тот момент начали создаваться высокопоставленными менеджерами региональных телекомов.

Так в конце 1996 года [37] нам удалось проложить первые километры оптико-волоконного кабеля и получить доступ к существующей инфраструктуре связи. В этот момент мы также сформулировали принцип максимального совмещения инфраструктуры научно-образовательных сетей с установившейся инфраструктурой связи. Другими словами, размещение узлов собственной опорной сети при базовых телекоммуникационных узлах региона (ТЦМС-5 – Приволжский филиал Ростелекома, междугородняя телефонная станция, узловые АТС города, ЛАЗ управления Куйбышевской железной дороги – узел ТрансТелекома).

При подключении нашей сети к вышестоящему провайдеру – федеральной опорной сети RNet, была сделана ставка на получение доступа к первичной наземной цифровой сети и использование конкурентной среды. Самара первый город (после Москвы и С. Петербурга), где региональная сеть получила доступ к цифровым сетям Ростелекома (1997 год) и ТрансТелекома (2001 год). Наши тесты [51, 54] показали невысокие эффективность и качество, а также высокую стоимость спутникового подключения. Задача о получении в аренду или собственность темной оптико-волоконной жилы или длины волны в общероссийской магистрали не ставилась, но в настоящее время она становится актуальной, в связи с появлением WDM технологий.

Еще одним базовым принципом построения сети был выбор протокола Ethernet в качестве транспортного протокола первичной сети. Преимущества Ethernet сетей: невысокая стоимость оборудования, упрощенный переход на новую скорость связи, существование различных подстандартов внутри одной сети (масштабируемость), быстрое развитие стандарта с появлением новых скоростей связи, перекрывают все недостатки протокола, вызванные наличием коллизий. Всегда, когда у нас был выбор, вложить деньги или в кабельную систему, или в оборудование, выбиралось первое. Набор оборудования часто был простейшим и состоял из конверторов и концентратора, так как такой набор полностью покрывает все требования для

Интернет-трафика. Через год-другой, когда стоимость оборудования значительно (в разы) уменьшится, можно произвести дополнительные закупки и провести модернизацию, но она уже не будет связана со значительным количеством разрешительной документации.

Достаточно большой финансовый вклад в развитие сетевой инфраструктуры внесли международные проекты. Среди успешно осуществленных международных проектов:

- проект ИНТАС (INTAS-IA-003) по созданию Европейской сети для математиков EmNet/NIS/PhaseII. В рамках этого проекта, где автор выполнял роль Team Leader по Самаре, был построен первый в регионе Интернет канал [47].
- инфраструктурный грант НАТО "Самарская региональная сеть для нужд конверсии" (CN.NIG.960542), 1996-1998
- организация семинара "Цифровые сети в Среднем Поволжье" (НАТО CN.ANW 972314), 1998 [115,116]
- Телекоммуникационная поддержка программы USIA, "Project Harmony", 1999-2000
- инфраструктурный грант НАТО "Экспериментальный спутниковый канал для российской провинции" (CN.NIG.975463), 1999-2001 [5,6]

## **1.5. СТРУКТУРА САМАРСКОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

Структура региональной компьютерной сети [1] представляет собой совокупность центрального узла RNet, расположенного на территории Поволжского филиала РОСТЕЛЕКОМА (ТЦМС-5) и цифровой опорной сети (backbone), соединяющей магистральные узлы при АТС города и в основных учреждениях науки и образования.

**Центральный узел (основной) - опорная точка доступа к сети Internet:**

Центральный узел расположен в здании ТЦМС-5 (Самарский филиал АО «Ростелеком»). Центральный узел выполняет следующие основные функции:

**- Обеспечение работы скоростной федеральной сети на участках Москва-Самара:**

В соответствии с планами развития цифровой сети связи, принятой Министерством связи РФ в первой половине 90-х годов, Самара являлась одним из пяти городов, получающих новую международную телефонную станцию. В ноябре 1996 был сдан в эксплуатацию Самарский участок цифровой радиорелейной линии Москва-Хабаровск (3+1\*155 Mbps).

С июля 1997 года эта линия на участке Москва - Челябинск продублирована оптоволокном. В 2003 году была построена и сдана в эксплуатацию DWDM магистраль Москва-Самара, и ведутся работы по ее расширению до Новосибирска.

С 2001 года Ростелеком не является монополистом в сфере предоставления в аренду магистральных каналов связи. Так как в этом году была сдана магистраль ТрансТелеКома на базе оптоволоконного кабеля, проложенного для технологических нужд вдоль железной дороги. Услуги этого оператора были использованы для развития общенациональной сети для нужд науки и образования. В 2002 году Самара получила 45 Mbps канал до Москвы через ТрансТелеКом.

Оборудование узла - опорной точки доступа INTERNET для поддержки скоростной федеральной сети (RBNet), созданной по межведомственной программе развития сети компьютерных телекоммуникаций для науки и высшей школы, поставлено и управляется РОСНИИРОС.

**- Межрегиональный доступ к опорной точке федеральной сети:**

Организация компьютерной телекоммуникационной сети Поволжского региона. Исходя из уровня развития коммуникаций, узел в Самаре фактически стал центральным узлом Поволжского региона.

В зону Самарского филиала АО РОСТЕЛЕКОМ входят города: Пенза, Ульяновск, Уфа, Челябинск, Магнитогорск, Оренбург. Все они получили цифровые каналы связи.

В зону действия СамараТрансТелеКом (СТТК) дополнительно входят такие крупные города, как Набережные Челны, Бугульма, Альметьевск. Кроме того, организованы прямые каналы на Саратов, Казань, Воронеж, Оренбург.

**- Организация опорной точки доступа для Самарской региональной телекоммуникационной сети:**

Узел соединен с сервис-провайдерами в г. Москва выделенными каналами [2] (с ноября 1996 года цифровыми) через маршрутизатор верхнего уровня - CISCO 4700. В 2002 году было приобретено два маршрутизатора Cisco 7206, один РосНИИРОС, другой СНЦ РАН. В настоящее время зарегистрированы домены второго уровня: smr.ru, ssau.ru (СГАУ) и samara.ru (СамГУ).

СГАУ закупил, смонтировал и запустил оборудование передачи данных на скорости 2,048 Mbps между опорным узлом и центральным узлом городского сегмента информационного пространства науки и высшей школы [42]. В 2002 году была проведена реконструкция указанного соединения, и оно было переведено на стандарт Fast Ethernet.

Оборудование узла INTERNET для организации опорной точки доступа Самарского региона поставляется и управляется РОСНИИРОС (RELARN) в рамках межведомственного проекта по развитию сети телекоммуникаций для науки и образования.

В ноябре 2003 года, Самарская научно-образовательная сеть под эгидой СНЦ РАН использовала канал на Москву пропускной способностью 20 Mbps, число рабочих мест в организациях, подключенных к сети, достигает 3000, а ежемесячный трафик составляет порядка 2 Терабайт в месяц.

**Самарская региональная сеть компьютерных телекоммуникаций организаций науки и высшей школы.**

Основным исполнителем работ по созданию региональной компьютерной сети организаций науки и высшей школы в 1996-2001 году являлся Самарский государственный аэрокосмический университет. С 2001 года сеть была передана Самарскому научному центру РАН.

Эта сеть представляет собой цифровую магистраль (backbone), использующую имеющуюся инфраструктуру связи, соединяющую основные узлы города.

### **ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ГОРОДСКОЙ СЕТИ:**

В настоящее время запущены следующие узлы:

старая МТС	Полевая, 43
Центральный телеграф	Красноармейская, 17
34 АТС	Соколова, 36
АМТС	Мичурина, 54
22 АТС	Блюхера, 24

При построении регионального сегмента телекоммуникационной сети использовались четыре возможности:

- **Первая**, прокладка собственного оптоволоконного кабеля как это было сделано для объединения локальных сетей СГАУ, СНЦ РАН, ИСОИ РАН и ИАМ, а также областной библиотеки [37].
- Кроме того, большинство АТС и телекоммуникационных центров города связаны между собой оптоволоконном со значительным резервированием и на его основе был реализован проект создания АТМ сети ГТС г. Самары. Шлюз в нее был смонтирован в 1999 году.
- **Третья** - аренда меди (физических линий) у ГТС на межстанционных участках и установка модемов со скоростью от 160 Кбит/с до 2 Мбит/с.
- **Четвертая**, получить готовые потоки E1 (E3, STM1 или другие соединения SDH(PDH) иерархии) с G.703 стыками на SDH кольце или по межстанционным ИКМ.

В настоящее время практически до всех значимых научно-образовательных учреждений, учреждений здравоохранения и культуры проложены собственные оптико-волоконные кабели, и развитие получил только первый вариант организации связи.

В 1997 году СГАУ были проведены переговоры с АО «Связьинформ», объединяющим ГТС, МГТС и телеграф Самарской области, другими

телекоммуникационными компаниями города. Для реализации всех проектов заключен договор о развитии информационного пространства для науки и высшей школы с ГТС, ЗАО "Волгоинформсеть", а также телефонной компанией "СамараТелеком", эксплуатирующей наиболее современное телекоммуникационное оборудование в городе Самара.

Цифровая опорная сеть (backbone) соединяет основные АТС и телекоммуникационные узлы на базе научно-образовательных учреждений города. Первая очередь сети была реализована согласно следующей схемы (август 1998 года):

Узел в СамараТелеком выполняет дополнительно функции резервного узла RbNet. К нему (а также узлу на телеграфе) подключаются организации, расположенные в центральной части города и районные центры области.

Backbone строится по участкам по мере поступления финансирования. Все работы обсуждаются и корректируются, прежде всего, с СамараТелеком и ГТС. Так ГТС закупило оборудование (**FORE SYSTEMS ASX 200, ES3850**) для первой очереди своей АТМ сети:

### **36 АТС (управление ГТС) - МГТС - 51 АТС**

При расширении этой сети на 34 АТС и 32 АТС (СТ), а также включении в нее участков Ethernet появилась возможность организации виртуальной сети внутри АТМ магистрали.

Таким образом, до 2000 года городская сеть науки и образования состояла из двух сегментов Ethernet, объединенных каналом 2,048 Mbps и нескольких маршрутизаторов в каждом из сегментов, распределенных территориально, но объединенных одной локальной сетью. К этим маршрутизаторам подключались по физическим линиям, арендованным у телефонных компаний, потребители, не проложившие собственные оптико-волоконные кабели. В настоящее время эти сегменты объединены в единый сегмент Ethernet, и он значительно расширен. Однако, базовая топология сети осталась неизменной и ниже приводится описание их размещения и функций.

### **ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ**

**Узел на Полевой**, в офисе СамараТелеком, играет роль центрального в сегменте. В 1998 году этот узел был включен на скорости 384Kbps в RbNet (2001 год – 1.536 Mbps, 2002 –20 Mbps) и соединен со всеми другими узлами. Тогда здесь были установлены маршрутизатор CISCO 3620, коммутатор CISCO Catalyst 2820, PC как DNS сервер. В 2002 году была проведена реконструкция и установлены маршрутизатор CISCO 3662, коммутатор Catalyst 2950, новый сервер тематических приложений и источник бесперебойного питания. К портам коммутатора по стандарту локальной сети Ethernet подключены Самарский научный центр РАН, Институт систем обработки изображений РАН, факультет информатики СГАУ, Самарский государственный технический университет, областная научная библиотека, областная детско-юношеская библиотека, имеется возможность подключения областной администрации. По физическим линиям на скорости 2 Mbps с 1997 по 2002 годы была подключена новая междугородняя телефонная станция, и на скорости 160 Kbps был подключен узел 34 АТС.

**34 АТС:** этот узел был основан в 1996 году как точка подключения на средней скорости (до 256 Kbps) корпусов СГАУ на Московском шоссе. Идеальная точка для организации службы связи по коммутируемым линиям. Здесь имеется большое количество свободных телефонов на стойке 5ESS фирмы AT&T, принадлежащей СамараТелеком. В 1997 году число коммутируемых входов выросло до десяти, а число абонентов равнялось 170. Имеется выход по многомодовому оптоволокну на АТМ магистраль ГТС. С этой точки, используя технологию IP-туннелинга, осуществляется передача трафика на 22, 63 и 56 АТС.

В течение 1996-97 гг. было закуплено и смонтировано следующее оборудование узла на 34 АТС:

- CISCO 2511 (получена от РОСНИИРОС),
- PC Pentium с 10 асинхронными портами,
- модемы USR Robotics в виде блока (MP8) и одиночных модемов,

- RAD ASM 20 и Zelax M160 для организации среднескоростной связи по физическим линиям на участках СТ - 34 АТС; 34 АТС - СГАУ и Полевая - 34 АТС. Модемы Zelax монтируются в единую стойку-пул Р-312.

В рамках договора с СамараТелеком работает десять коммутируемых входов в рамках одного серийного номера для подключения с домашних телефонов преподавателей, научных сотрудников и студентов вузов города.

Расходы на дооборудование узла на 34 АТС осуществлены за счет гранта НАТО по созданию конверсионной сети Самарского региона. Ведущая организация – СГАУ («Samara Regional Network for Conversion», CN.NIG.960542) По создающейся сети осуществляется передача данных в рамках межправительственных договоров по сотрудничеству в аэрокосмической области (США, Франция).

В настоящее время на АМТС установлен коммутатор CISCO Catalist 2828 с модулем АТМ, который включен в центральный АТМ коммутатор Fore Systems ASX-200 и через него осуществляется связь с узлами на 34 АТС, 22 АТС (через 51 АТС), 63 АТС.

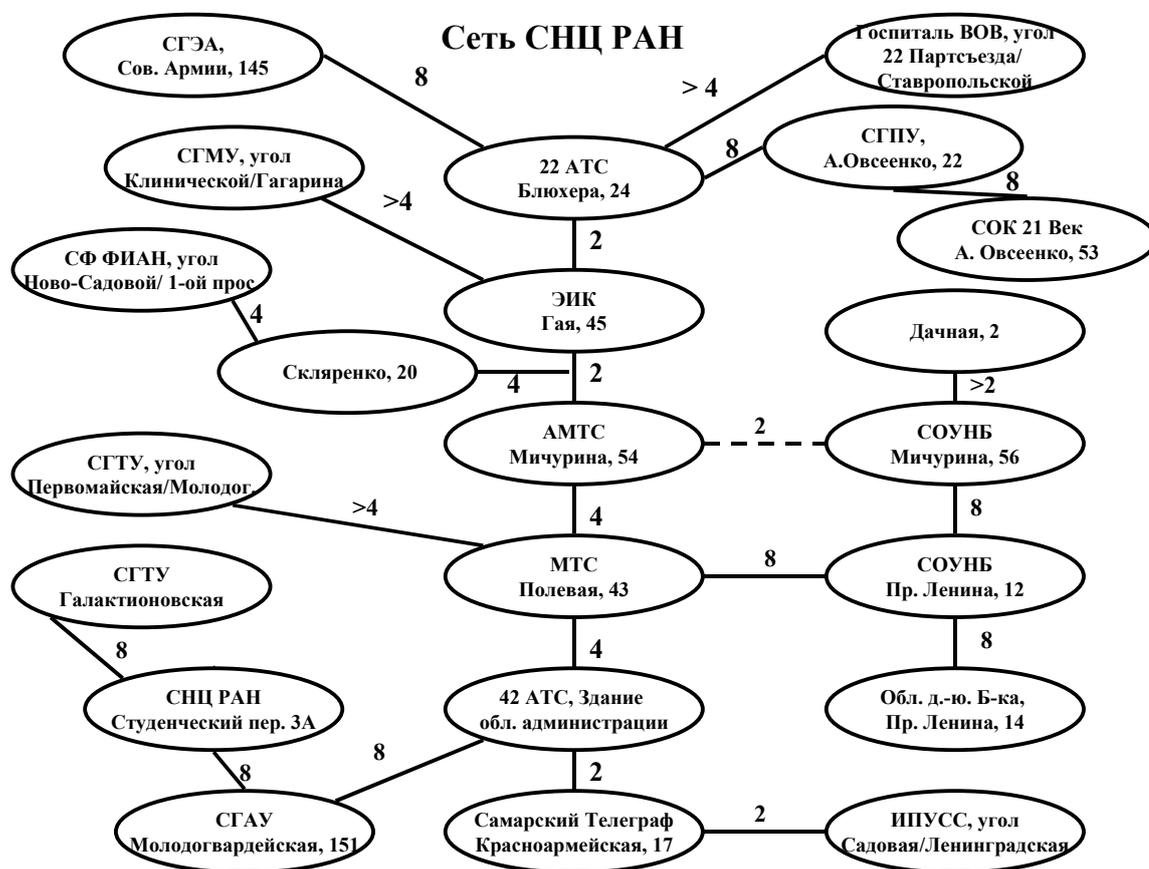
На в ЛАЗ СамараТелеком на АМТС с 1997 по 2001 год был установлен роутер CISCO 2501, поддерживающий маршрутизацию 2,048 Mbps канала до МТС. К этому узлу выведена оптоволоконная линия до СГАУ, которая в 2001 году была продлена до МТС.

С сентября 1998 года запущен узел на **22 АТС:** и подключены по наземным линиям экономическая академия (128 Kbps), Самарский филиал ММУБИТ на скорости 115 Kbps. В 2000 году этот узел получил собственный оптоволоконный выход до СГАУ, а также были проложены оптиковолоконные кабели до СЭЕА, СОК 21 век, в 2001 году были подключены СамИИТ (СамГАПС) и госпиталь инвалидов войн.

Расходы на организацию узла на 22 АТС финансировались СГЭА и межведомственная программа по созданию регионального сегмента национальной сети телекоммуникаций (проект 2.25).

Ниже приведены схемы проложенных оптико-волоконных кабелей связи и распределение волокон в них на конец 2001 года.

**Рисунок 1.5.1. Схема оптоволоконных кабелей городской сети науки и образования (СНЦ РАН)**



### Основные работы 1997 года [43] (краткое описание):

- с первого августа запущен независимый выход в RbNet на скорости 128 Кбит/с с регистрацией собственной автономной системы и доменов второго уровня: ssau.ru и smr.ru
- осуществлен проект объединения локальных сетей СГАУ, Самарского научного центра РАН, ИСОИ РАН, ИАМ на основе собственного одномодового оптоволоконного кабеля с возможностью развития этого проекта до АТМ магистрали
- создание службы Интернет для предоставления услуг по коммутируемым входам для преподавателей, научных сотрудников и

студентов научных организаций и вузов г. Самары. Увеличения числа телефонов для входов до 10 и числа пользователей до 80.

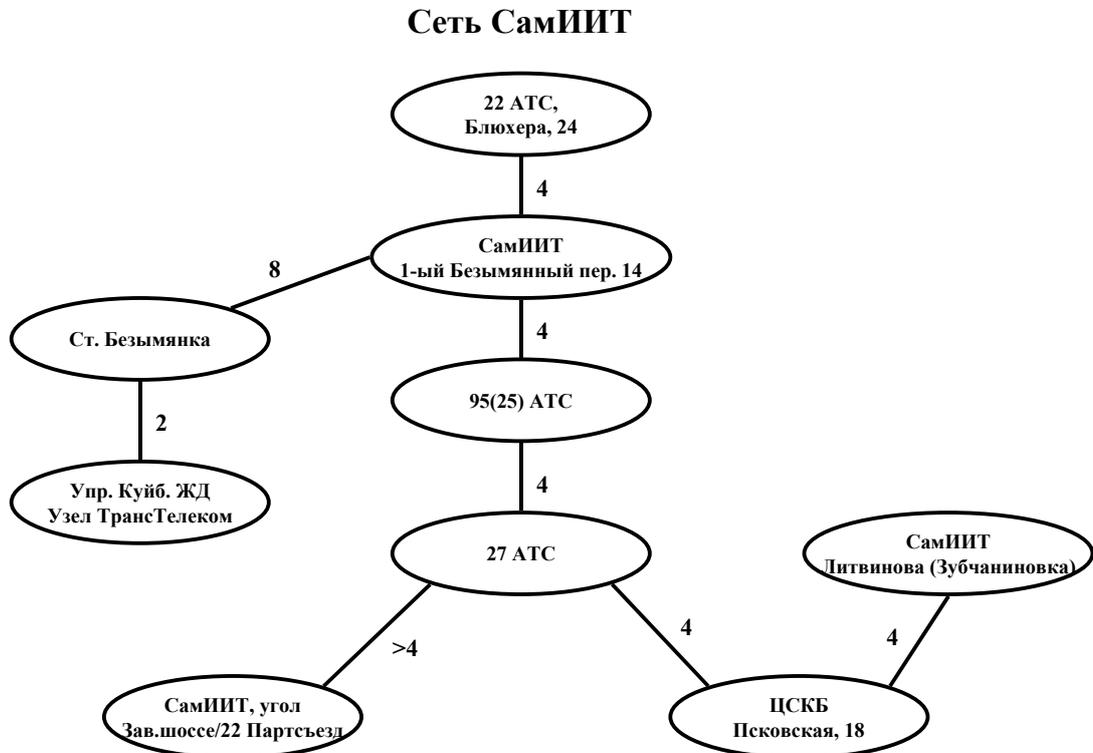
- создание центрального узла на базе телефонной компании "СамараТелеком" в здании МТС, узлов на Самарском телеграфе и 42 АТС (здание областной администрации), модернизация узла на 34 АТС
- все учебно-научные корпуса городка СГАУ, где расположены многие научно-исследовательские организации, объединены оптоволоконным кабелем в единую сеть
- подключение к локальной сети корпуса ИИК Центрального специализированного конструкторского бюро. На этой базе было опробована передача телеметрии при запусках спутников согласно Межправительственным договорам с Францией, США и т.д. Всего, начиная с сентября, обслужено четыре пуска, в том числе два международных. Для этой цели запущено специально программное обеспечение на ftp сервере СГАУ.
- проектирование и выполнение под ключ локальных сетей СНЦ РАН, ИСОИ РАН, ИАМ
- число компьютеров в городском сегменте, имеющих круглосуточный выход в Интернет по выделенным линиям связи превысило 200.
- начаты работы по созданию АТМ магистрали

#### **Основные работы 1998 года (краткое описание):**

- подключение корпусов областной универсальной научной библиотеки к региональному сегменту компьютерной информационной среды академических и вузовских организаций г. Самары (включая подразделения Самарского научного центра Российской академии наук) по оптоволоконной технологии.
- организация нового узла сети на Автоматической междугородней телефонной станции (АМТС, Мичурина 54) с подведением к нему оптоволоконных линий и монтированием шлюза в сеть АТМ ГТС [44]

- организация оптоволоконного канала корпуса СГАУ на Московском шоссе - АТМС

**Рисунок 1.5.2. Схема сети СамГАПС**



- организация цифрового канала 2,048 Мбит/с на участке МТС-АТМС для связи нового узла с существующей инфраструктурой в центральной части города
- замена модемов для связи с RbNet для увеличения внешней пропускной способности сети до 384 Kbps
- установка программного обеспечения мониторинга сети
- организация двенадцати рабочих мест видеооборудованием и проведение городской видеоконференции.
- число компьютеров в городском сегменте, имеющих круглосуточный выход в Интернет по выделенным линиям связи превысило 400.
- разработана договорная основа эксплуатации городской сети с учетом самоокупаемости по статусу "non-profit"

- проведен семинар "Цифровые сети в Среднем Поволжье", расходы по его проведению покрыты грантом НАТО. Во время семинара удалось достичь договоренности об организации спутникового канала из Самары.
- создан узел при 22 АТС с использованием инфраструктуры ГТС. К нему подключены Самарская государственная экономическая академия и Самарский филиал ММУБИТ. Большую часть расходов по созданию узла понесла экономическая академия.

#### **Основные работы 1999 года [45] (краткое описание):**

- увеличение пропускной способности внешнего канала до Москвы до 512 Kbps
- телекоммуникационное сопровождение полета КА «Фотон-12» и было обеспечено успешное проведение эксперимента «MAGIA» на установке «FluidPack». «Операция по спасению» FluidPack стала превосходной демонстрацией успешного сотрудничества между ESRANGE, ЦУП и ЦСКБ. Надежная сеть передачи данных также стала ключевым элементом успеха. [29, 108]
- модернизация узла при 22 АТС и перевод его на оптико-волоконную связь. К нему проложен кабель от Самарской государственной экономической академии и Самарского филиала ММУБИТ (ныне СОК 21 век).
- число компьютеров в городском сегменте, имеющих круглосуточный выход в Интернет по выделенным линиям связи превысило 600.

#### **Основные работы 2000 года (краткое описание):**

- увеличение пропускной способности внешнего канала до Москвы до 1.024 Mbps
- Подключение к городской сети науки и образования ИПУСС РАН по оптико-волоконному кабелю связи

- Подключение СамИИТ (ныне СамГАПС) по оптико-волоконному кабелю связи, проложенному до 22 АТС, за счет заказчика. Получение выхода в заводскую зону г. Самара.
- число компьютеров в городском сегменте, имеющих круглосуточный выход в Интернет по выделенным линиям связи превысило 1000.

#### **Основные работы 2001 года (краткое описание):**

- увеличение пропускной способности внешнего канала до Москвы до 1.536 Mbps
- Подключение к городской сети науки и образования СФ ФИАН РАН по оптико-волоконному кабелю связи
- Подключение корпусов СамГТУ на ул. Первомайской по оптико-волоконному кабелю связи, проложенному до центрального узла на МТС (ул. Полевая).
- Объединение двух Ethernet сегментов городской сети науки и образование в единый и переход на технологию Fast Ethernet.
- число компьютеров в городском сегменте, имеющих круглосуточный выход в Интернет по выделенным линиям связи превысило 2000.

#### **Основные параметры самарской региональной научно-образовательной сети (на ноябрь 2003 года)**

- Длина используемого оптико-волоконного кабеля составляет порядка ста километров, все оно находится в собственности научно-образовательных учреждений
- Подключены с использованием оптоволокна все институты РАН, госбюджетные Вузы, крупнейшие библиотеки и медицинские учреждения
- Пропускная способность внешнего канала до Москвы составляет 20 Mbps
- Количество рабочих мест, подключенных по технологии Fast Ethernet, составляет не менее 4000

- Ежемесячный трафик достиг 2 Терабайт
- Общее количество пользователей порядка 30 тысяч человек

## **1.5. ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В настоящее время уже мало кто решится утверждать, что успешное ведение бизнеса не зависит от его сопровождения в виртуальном мире, созданном на базе современных информационных технологий. Профессия специалиста в области сетевых технологий становится массовой, их услуги востребованы не только компаниями, работающими в области связи и информационных технологий, но и крупными, средними и мелкими работодателями других сфер деятельности. Число обращений в кадровые агентства, Вузы с просьбой порекомендовать им перспективных специалистов, причем не только молодежь, но и лиц среднего возраста растет, а круг квалифицированных претендентов практически не претерпевает изменений.

Настоящая статья посвящена всему спектру проблем подготовки специалистов в области сетевых технологий, включая первоначальный отбор, вузовскую стадию обучения и последующие специализированные курсы для освоения специфических задач, которые будут решаться у работодателя [46].

Сейчас практически все Вузы г. Самары, занимающиеся подготовкой специалистов в области точных наук или инженеров, открыли специальности в области информационных технологий. Это Поволжская академия телекоммуникаций и информатики (ПГАТИ), Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ), Самарский государственный технический университет (СамГТУ), Самарский институт инженеров транспорта (СамИИТ), Самарский государственный университет (СамГУ), а также ряд коммерческих вузов. Однако недостатки вузовской стадии обучения общеизвестны:

- несовершенство учебных планов,
- отсутствие квалифицированных преподавателей,

- слабая лабораторная база,
- недостаточная индивидуальная подготовка лучших выпускников.

Все эти недочеты можно было бы устранить на второй стадии высшего образования, при подготовке магистров, но существующий уровень оплаты преподавательского труда не позволяет надеяться на улучшение существующей ситуации в государственных учебных заведениях в обозримое время. Частные учебные заведения традиционно направлены на подготовку кадров в экономической и гуманитарной областях, где не требуется больших материальных вложений в оборудование и учебные площади, а также значительного количества квалифицированных преподавателей, которые должны вести не только лекционные курсы, но и практические занятия, и лабораторные работы. Это значительно удорожает учебный процесс.

Немного лучше сложилась ситуация в ведомственных вузах, прежде всего ПГАТИ и СамИИТ. Следует отметить, что первый из них традиционно имел хорошую лабораторную базу, включающую уникальное телекоммуникационное оборудование, а не только классы персональных компьютеров с выходом в глобальную сеть. За последние годы эта база обновилась но, к сожалению, ПГАТИ всегда тяготел к подготовке специалистов по нижним уровням (до транспортной включительно) модели взаимодействия открытых систем. СамИИТ за последние два года радикальным образом обновил лабораторную базу, получив специализированные сетевые лаборатории, укомплектованные оборудованием CISCO, HP, IBM и т.д., системы передачи данных, цифровые телефонные станции, включая IP телефонию, системы видеоконференций, и все это для использования исключительно в учебном процессе. В совокупности с повышенным уровнем оплаты преподавательского труда все вышеперечисленные факторы должно привести к появлению приемлемого уровня базового образования через несколько лет. Но это произойдет только

в том случае, если политика поддержки вышеупомянутых ВУЗов со стороны ведомств останется неизменной.

Однако работодатели нуждаются в квалифицированных кадрах уже сегодня, поэтому ряд проблем по подготовке специалистов ложится на их плечи. Найти человека, который полностью удовлетворяет всем квалификационным требованиям, практически невозможно. Для того чтобы ликвидировать разрыв между реальным и желаемым уровнем квалификации, требуется дополнительная подготовка. До недавнего времени, пройти подобное обучение можно было только в Москве, С. Петербурге или даже за границей. Как правило, учебные центры организованы крупнейшими сетевыми интеграторами: так "Сетевая академия" организована при Московском физико-техническом институте золотым партнером CISCO SYSTEMS, фирмой "Plus Communications". Обучение в таких центрах достаточно дорогое, порядка 700 долларов за недельный курс, поэтому воспользоваться такими услугами могут только крупные, благополучные организации. Тем более что для подготовки действительно хорошего специалиста требуется не менее пяти одно- или двухнедельных курсов, общей стоимостью порядка пяти тысяч долларов. До недавнего времени этот сегмент образовательного рынка не был представлен в Самаре, но уже почти два года действует Самарский Региональный Телекоммуникационный Трейнинг Центр при ПГАТИ, где обучаются работники операторов связи. Более года развернута подготовка специалистов по распределенным компьютерным сетям для работников Куйбышевской железной дороги в лаборатории сетевых технологий факультета дополнительного образования (ФДО) СамИИТ. С начала этого года начато создание подобного центра, института компьютерных технологий, при СГАУ. Обучение в этих центрах постепенно становится открытым для всех желающих и доступным по цене, колеблющейся в районе пяти тысяч рублей за недельный курс. Правда остается открытым вопрос об универсальности программ обучения, их обновлению и т.д.

Гибкая система подготовки специалистов, развиваемая в СамИИТ, предполагает трехуровневую структуру:

- Одно- или двухнедельные курсы повышения квалификации объемом 36 или 72 часа направлены на получение практических навыков в конкретной области. Стоимость обучения от трех и пяти тысяч рублей соответственно.
- Профессиональная переподготовка (второе высшее образование) в объеме 500 часов по очно-заочной форме дает право на ведение профессиональной деятельности в выбранной сфере. Срок обучения 12 месяцев, а стоимость от 16 тысяч рублей.
- Программа обучения объемом 1500 часов предполагает получение базового высшего образования

Ниже хотелось бы остановиться на тех курсах, которые проводятся на основе лаборатории сетевых технологий. Это, прежде всего "Принципы построения региональных IP сетей". Данный курс был разработан для технических специалистов, работающих в сфере информационных технологий и повседневно использующих компьютерные сети различных масштабов. Среди прошедших обучение сотрудники управления Госсвязьнадзора по Самарской области, ОАО "Связьинформ", Куйбышевской железной дороги, других коммерческих операторов и Вузов города. Программа курса рассчитана на недельный курс с отрывом от производства в 40 часов (20 лекционный курс и 20 лабораторные работы) и охватывает важнейшие темы: сети передачи данных; линии связи, включая цифровые; организация маршрутизации; локальные сети; безопасность; услуги на базе IP, включая видеоконференции и т.д. Программу курса можно найти на Web сайте СамИИТ. Лаборатория сетевых технологий ФДО СамИИТ оборудована современной техникой, включая маршрутизаторы, коммутаторы, сервера IP телефонии CISCO и 3COM, сервера IBM и Hewlett Packard, оборудование SDH и PDH (Морион), цифровые УАТС ДХ500 и др. Имеется методическая

литература, возможно представление благоустроенной гостиницы. Стоимость обучения 4 200 рублей за одного слушателя.

Среди других апробированных курсов можно выделить "Создание информационных ресурсов Internet/Intranet", "IP телефония". В ближайшее время планируется начать обучение согласно программам "Операционная система Linux для серверов Internet/Intranet услуг", "Цифровые системы передачи и цифровые УАТС" и др.

На базе вышеупомянутых курсов создается принципиально новый - "Основы администрирования Internet/Intranet сетей". Не секрет, что сетевой администратор одна из наиболее востребованных профессий сегодня. В то же время на рынке труда имеется большое количество людей среднего возраста (до 40-ка лет), с высшим техническим образованием и имеющим навыки компьютерного пользователя. Но их образование совершенно не предусматривало подготовку в области информационных технологий. Предлагаемый курс планирует устранить пробелы в этой области знаний и сформировать первоначальные навыки сетевого администрирования, так чтобы специалист мог двигаться далее самостоятельно. В настоящее время ведутся переговоры со службой занятости о возможности оплаты такого обучения.

Планируется также долгосрочное сотрудничество с организациями по целенаправленной подготовке специалистов. Модель взаимодействия предусматривает предварительный отбор старшекурсников, причем не только из СамИИТ, но и СГАУ, ПГАТИ, СамГТУ, и индивидуальную дальнейшую работу в течение длительного времени, причем такая подготовка может совмещаться с подготовкой дипломной работы. Работодатели заключают договора со старшекурсниками и СамИИТ. Среди тематики, по которой может быть начата подготовка специалистов, следует выделить управление синхронными цифровыми сетями передачи (SDH); управление цифровыми телефонными станциями, включая их синхронизацию; особенности организации передачи данных через SDH;

биллинговые системы; организацию серверов приложений на базе Linux, IP телефонию. Методика подготовки предполагает работу по организации испытаний на современном оборудовании, специально предназначенном для этих целей.

Пока на этом новом, еще только организующемся рынке обучения, конкуренция практически отсутствует. Чтобы обезопасить себя от возможной недобросовестности со стороны образовательных учреждений необходимо обратить внимание на техническую оснащенность их лабораторий и наличие фундаментальных разработок в сфере информационных технологий. Преподаватели, ведущие подобные исследования, достаточно много путешествуют, участвуя в международных конференциях. Это дает возможность непосредственно знакомиться с передовыми технологиями и людьми, их создающими.

## **ГЛАВА 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ИХ МОНИТОРИНГЕ**

### **2.1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ**

#### **Объекты для анализа**

Первичные цифровые сети используют в качестве среды передачи сигнала электрический и оптический кабели, а также радиочастотные средства, как радиорелейные линии, радио доступ к локальной сети, спутниковые системы передачи. Этот параграф будет посвящен обобщению опыта, полученного при построении региональных сетей передачи данных и региональных транспортных сетей [54]. Среди этих сетей мне бы хотелось особенно выделить Самарскую региональную научно-образовательную сеть, начало которой было связано с Самарским государственным аэрокосмическим университетом [45]. В настоящий момент эта сеть управляется специалистами Самарского научного центра РАН. Ее создание и развитие финансировалось несколькими федеральными программами, в том числе и Межведомственной программой развития сети телекоммуникаций, программой интеграции науки и высшей школы и другими российскими источниками, а также была поддержана зарубежными фондами и организациями, такими как НАТО, ИНТАС, Информационное агентство США и т.д.

Первым каналом из Самары в глобальную сеть был канал тональной частоты с модемами Zuxel 1496, арендуемый у ОАО «Ростелеком» в середине 1995 года. В настоящее время данные каналы практически не используются, исключение составляют удаленные райцентры внутри региональной зоны. Для организации надежной связи внутри города были использованы физические линии, которые благодаря появлению DSL технологий не утратили актуальности и по сей день. С 1997 года в Самаре стали доступны магистральные цифровые потоки E1 (PDH иерархия), благодаря построенной

ОАО «Ростелеком» цифровой радиорелейной линии. В этом же году для региональной сети науки и образования были построены первые оптоволоконные линии связи с использованием многомодовых и одномодовых кабелей с Ethernet в качестве транспортного протокола. В 1998 году на основе этих линий был выполнен АТМ проект по монтированию шлюза между Самарской региональной научно-образовательной сетью и мультипротокольной сетью ГТС [44]. В 2000 году по гранту НАТО Самарским отделением российской академии космонавтики был запущен прямой спутниковый канал в Европу, (Бонн, GMD – немецкий правительственный институт в области связи и информатики). В 2002 году канал для региональной сети науки и образования на Москву, в сеть RBNet, был переведен на широкополосную технологию Ethernet over SDH на основе магистрального канала «ТранстТелеКома».

Другой сетью, показатели которой широко использовались в данной статье, является региональная транспортная сеть уровня STM16/1, построенная на базе оптоволоконного кабеля, проложенного Куйбышевской железной дорогой и эксплуатирующейся ООО «Полюс». Инвестором данного проекта выступило ЗАО «ТМС», г. Тольятти, при поддержке инвестиционной компании «Югра-Инвест», г. Москва. В 2003 году было осуществлено строительство и налаживание эксплуатации этой сети, а также были проведены подготовительные работы по инсталляции CWDM оборудования и выделении длины волны для Самарской региональной сети науки и образования для подключения города Тольятти по технологии Gigabit Ethernet.

Отдельно хотелось бы коснуться вопроса по организации радиоканалов. Моя принципиальная позиция, которая не является истиной в последней инстанции, состоит в том, что такие каналы недостаточно надежны, дороги в инсталляции и обслуживании, а также требуют огромной и длительной работы по узакониванию их использования. Мой опыт по оформлению необходимых бумаг продлился более года и не достиг результата.

## **Критерии эффективности**

Ниже хотелось бы остановиться на тех критериях, которые могли бы быть основой для сравнения различных транспортных сред для построения IP сетей. Первая группа оценок касается различных аспектов инсталляции системы, вторая группа описывает процесс последующей эксплуатации, а третья отвечает за качество представляемой связи.

В свою очередь среди параметров, описывающих инсталляционный процесс, следует выделить стоимость инсталляции системы связи или аренды ее целиком или отдельных ее частей, время, затраченное на инсталляционный процесс и предельную скорость связи, которая может быть достигнута в результате выбранной технологии. Стоимость инсталляции системы связи будет включать затраты на кабельную систему и минимальный комплект оборудования. Время, затраченное на инсталляцию, включает сроки на проектирование, получение соответствующих разрешений, монтажные работы, сдачу в эксплуатацию. Право собственника определяет того, кто будет владельцем построенной системы и того, кто будет эксплуатировать ее. Важнейшим вопросом для последующей эксплуатации сети и ее возможного обновления в случае необходимости является вопрос о предельной скорости передачи данных, достигаемых на данном типе кабельной системы. Но обычная скорость, измеряемая в битах в секунду (bps), не является исчерпывающей характеристикой, так на малых расстояниях для любого носителя можно достичь значительных скоростей. Поэтому при построении региональных сетей передачи данных должны учитываться скорости, достигаемые телекоммуникационными устройствами на типичных расстояниях от 1 км до 150-200 км. То есть следует ввести комбинационный параметр, каким является произведение предельной скорости протокола передачи на возможное расстояние, на котором действует этот протокол. Например, хорошо известно, что технология DWDM позволяет образовывать 320 длин волн на расстоянии 100-150 км, а на каждой длины волны

достижима скорость 10 Gbps. Значит, интегральная характеристика DWDM протокола составляет  $4 \cdot 10^{14}$  bps\*km (40 000 Gbps\*km).

Для оценки текущих эксплуатационных расходов можно выделить два параметра – расходы на зарплату специалистов по поддержанию работоспособности сети и расходы на аренду кабельной системы, каналов связи, телефонной канализации, помещений, электропитания и т.д., то есть расходы на аренду телекоммуникационной инфраструктуры. Расходы на специалистов и поддержание телекоммуникационной инфраструктуры правильнее оценивать, сопоставляя ежемесячные траты (количество ставок) на Гигабайт переданной информации.

Последняя группа параметров оценивает качество связи при помощи двух параметров: ошибки при передаче информации и надежности. Ошибки уровня ниже, чем  $10^{-6}$  (испорчен один пакет из миллиона переданных) могут не учитываться для любых протоколов связи, включая синхронные SDH, PDH. Если уровень ошибок ниже, то он не критичен только для IP соединений.

Что касается надежности систем связи, то ее традиционно измеряют в процентной доле, которую составляет время, когда система проработала без сбоев, к общей длительности наблюдения за системой. Основной вклад в обеспечение надежности вносят принципы построения сети, прежде всего резервирование питания и надежность транспортной системы от физических сбоев, как порывы кабелей связи, отклонения антенно-мачтовых устройств, а также обслуживание и мониторинг сети.

В данной статье мне бы хотелось применить другой параметр для описания надежности связи, а именно среднее время безотказной работы системы, то есть тот период времени, которое происходит между экстренными действиями персонала для устранения сбоев. Например, для подвесного оптоволоконного кабеля длиной 100 километров такое вмешательство требуется в среднем два раза в год. А для такого же кабеля, проложенного в телефонной канализации, период безотказной работы два-три года.

## Сравнение эффективности различных транспортных сред

Результаты по сравнению эффективности различных транспортных сред, являющиеся обобщением опыта работы вышеупомянутых сетей, а также почерпнутые из общения с коллегами сведены в Таблицу 2.1.1. В ней проанализированы все основные транспортные среды и протоколы, как аналоговые и физические линии, радиосвязь, цифровые потоки, а также различные транспортные протоколы на базе опτικο-волоконных кабелей связи.

**Таблица 2.1.1. Сравнение эффективности различных транспортных сред**

Транспортная среда	Инсталляционный процесс			Текущие эксплуатационные расходы		Качество связи
	Стоимость инсталляции или аренды	Время инсталляции	Предельная скорость связи	Расходы на специалистов	Аренда инфраструктуры	Время бесперебойной работы
	USD	Месяц	Mbps*km	GB/ставок	USD/ GB	месяцев
Аналоговая линия	300	1-2	0.15	5-10	10-20	3
Физическая линия (витая пара)	500	1-2	20	10-20	8-15	4
Радиорелейная линия	20000	4-12	600	30-40	5-10	6
Радио Ethernet	5000	4-12	100	20-50	5	4
Цифровые потоки (E1)	1000	1	~ 300	100-200	0.3 за км	24
Спутниковая связь (VSAT/DVB)	6000	3-8	~10 <sup>5</sup>	50-100	100	6
Оптоволокно (прокладка)	600-1200 за км за	3-6	10 <sup>4</sup> -10 <sup>8</sup>	100-500	1-5	6 для

	пару волокон, 5000 - 7500 за кабель					подвешеного 24 в канализации
Оптоволокно (аренда)	40 за км за пару волокон в месяц	1-3	$10^4 - 10^8$	100-500	5-20	6 для подвешеного 24 в канализации
Оптоволокно mm, Ethernet	400	1-4	300	100-200	2-5	6
Оптоволокно sm, Ethernet	1000	1-4	$10^6$	100-400	1-3	6
Оптоволокно SDH	10000	3-6	$10^6$	100-300	1-3	24
Оптоволокно CWDM	20000	3-6	$10^7$	100-500	1-3	18
Оптоволокно DWDM	200000	6-8	$3 \cdot 10^8$	100-500	1-3	18

В результате немалых финансовых вливаний и воплощения технической концепции, заложенной при рождении сети, через несколько лет появляется результат в виде действующей сети. Как оценить перспективность вложений и перспективы сети? С моей точки зрения определяющее значение играет параметр, показывающий все понесенные с начала строительства сети капитальные затраты отнесенные на один терабайт ежемесячного трафика.

Нами, при начале строительства Самарской региональной научно-образовательной сети, еще в 1996 был сформулирован принцип строительства собственной оптоволоконной кабельной инфраструктуры как основы сети, а в качестве транспортного протокола был выбран Ethernet, как наиболее дешевый при инсталляции и обслуживании. Этот принцип

основывался на том факте, что научно-образовательные учреждения могут потратить однократно значительные суммы, но платить постоянно даже половину или даже четверть коммерческой сети они никогда не смогут. В результате, на начало 2004 года общие расходы на строительство сети с 1996 года можно оценить в полтора миллиона долларов из всех источников. В то же время основные параметры сети можно охарактеризовать как более трех терабайт ежемесячного трафика, протяженность собственных оптоволоконных кабелей более 100 км, ширина канала до Москвы – 22 Мбит\с. То есть, потрачено около 500 тысяч долларов на терабайт ежемесячного трафика. Следует отметить, что этот показатель обычно составляет от одного до двух миллионов долларов

### **Методика оценки региональных провайдеров**

Только немногие сети смогли построить свою собственную кабельную инфраструктуру, соединяющую узлы сети и основных потребителей, а арендуют ее. Из-за этого затраты на передачу одного гигабайта данных до клиента варьируются в региональных сетях от 30-ти до 50-ти долларов. В эту сумму внесены затраты на покупку межрегионального и зарубежного трафика, изменяющиеся от 15-ти до 30-ти долларов в зависимости от региона и объема. У компаний, владеющих собственной инфраструктурой затраты на передачу трафика от центрального узла до клиента обычно составляют 2-5 долларов.

Существенный вклад в себестоимость вносят затраты на обслуживающий персонал. В научно-образовательных сетях, где не требуется тщательный расчет ресурсов, потребляемых каждым клиентом (биллинг), один сотрудник приходится более чем на 500 гигабайт ежемесячного трафика. Коммерческие операторы, ввиду больших требований со стороны клиентов, вынуждены держать значительный штат сотрудников, так что один сотрудник приходится в среднем на 50-150 Гигабайт ежемесячного трафика.

В целом данные для оценки региональных интернет сервис-провайдеров можно свести в Таблицу 2.1.2, выделив три условных группы операторов: успешные операторы, операторы среднего уровня, плохо работающие операторы.

**Таблица 2.1.2. Основные показатели региональных Интернет сервис-провайдеров**

	Ежемесяч ный трафик в ТБ	Стоимость основных фондов на 1ТБ месячного трафика (в дол. США)	Доля кабельных систем в основных фондах в %	Стоимость магистраль ного трафика в USD/ГБ	Стоимость аренды телекоммун икационной инфраструк туры USD/ГБ	Расходы на зарботную плату USD/ГБ
Успешный оператор	> 2	> 1 500 000	> 40	< 20	< 10	< 5
Оператор среднего уровня	1 – 2	500 000 – 150000	10-40	20-30	10-20	5 - 15
Плохо работающи й оператор	< 1	< 500 000	< 10	> 30	> 20	> 15

В настоящее время общее стремление всех операторов связи заключается в снижении собственных расходов при продаже трафика. Зарубежный опыт развития глобальной сети, который Россия повторяет приблизительно через пять лет, свидетельствует о том, что тарифы на услуги Интернет для конечного пользователя должны опуститься в течение двух-трех лет до уровня 20-50 долларов за Гигабайт потребленного трафика. Это означает, что самостоятельно не смогут выжить даже лучшие региональные компании, которые должны будут входить в крупные общероссийские холдинги, созданные на базе общероссийских транспортных сетей, число которых не превысит четырех-пяти.

## **Простейшие правила для инвесторов**

В заключение я хотел бы остановиться на тех проектах, в которые, с моей точки зрения, можно надежно инвестировать. В рамках уже существующих компаний такими инвестициями до сих пор остаются строительство собственных опτικο-волоконных кабельных систем для различных нужд.

Что касается новых, масштабных проектов, то тут следует выделить такие направления как

- Строительство межрегиональных и региональных транспортных сетей
- Создание крупных проводных телефонных компаний, обслуживающих номерную зону не менее чем в 100 000 номеров (узловых АТС) в городах с населением от 500 000 человек
- Строительство городских Wi-Fi сетей и распределенных сетей Ethernet, а также инсталляция станций компьютерной телефонии на их основе

Эти новые, мало освоенные направления в российских телекоммуникациях, но имеющие перспективу. Однако при осуществлении проектов надо благоразумно придерживаться ряда правил. Попытаюсь сформулировать основные из них:

1. Перед началом проекта надо правильно оценить рынок услуг и перспективы их развития. Я несколько раз сталкивался с тем, что рынок предполагаемых услуг был завышен в несколько раз.
2. Задайтесь сразу вопросом – какова будет стратегия продаж, кто будет ими заниматься, и за счет каких маркетинговых ходов Вы планируете занять свою долю рынка.
3. Как правило, на рынке, где уже работает три или более компании, очень трудно претендовать на долю большую, чем 20% через полтора года с начала проекта.

4. Общий объем инвестиций не должен превышать всех доходов от проекта за второй год после начала продаж.
5. Первые шесть месяцев проект после начала продаж остается дотационным, то есть поступающие средства перекроют все текущие расходы только после истечения этого срока. Эти расходы должны быть учтены в бизнес-плане.

## **2.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СПУТНИКОВЫЙ IP КАНАЛ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

В процессе телекоммуникационного сопровождения полета спутника "ФОТОН-11" выяснилась недостаточная пропускная способность Самарской региональной сети для науки и образования для передачи телеметрической информации зарубежным партнерам [6]. Этот спутник был изготовлен в Самаре и оснащен оборудованием Европейского космического агентства (ЕКА) для проведения технологических экспериментов. Специалистами ЕКА и Поволжского отделения Российской академии космонавтики был получен грант НАТО (CN.NIG.960542) на создание экспериментального спутникового Интернет канала в Самаре. Мне пришлось руководить технической стороной этого проекта и результаты [51], полученные в ходе организации такого канала, представлены в данном параграфе.

Прежде всего, мне бы хотелось классифицировать всех потенциальных пользователей спутникового Интернет на основании объема потребляемой информации по следующим категориям:

1. Одиночный пользователь, потребляющий до 300 Мб в месяц.
2. Небольшая организация, с ежемесячным объемом трафика 1-2 Гбайт.
3. Крупная фирма или мелкий провайдер, потребляющие 5-20 Гб в месяц
4. Средний провайдер, нуждающийся как минимум в 50 Гб трафика.

Для первых двух категорий потребителей сервис налажен уже давно такими провайдерами, как DirectPC, НТВ-Интернет и другими, но данная статья

предназначена для двух последних категорий пользователей. Изложение будет сфокусировано вокруг следующих тем:

- ◆ Выбор спутника и провайдера
- ◆ Стандарты
- ◆ Оборудование
- ◆ Потенциальные потребители и ценовая политика

### **Спутниковая система**

Летом 1999 года, когда стало ясно, что грант выделен, начались исследовательские мероприятия по поиску провайдера и спутника, с которого эти услуги могли быть получены. Поскольку в первую очередь нам был необходим зарубежный трафик, то мы обратились в ГМД – Немецкий исследовательский центр информационных технологий, спутниковый департамент которого уже организовывал дуплексный канал в Россию, Президиум РАН. Они арендовали часть транспондера спутника Eutelsat ПФЗ, расположенного на геостационарной орбите в точке 36° восточной долготы.

Одним из основных условий инсталляции системы из-за финансовых ограничений был небольшой размер земной станции спутниковой связи (ЗС СС) с диаметром антенны не более 1,8 метра. Поэтому для работы был выбран Ku диапазон. Для устойчивой работы станции необходимо, чтобы соотношение сигнал/шум для принимаемого сигнала превышало 6 дБ. Измерения данного соотношения, проведенные в сентябре 1999 года, не дали положительного результата даже на антенне диаметром 2,5 метра. Нам оставалось только ждать. Все наши надежды были связаны с вводом в строй спутника Eutelsat SeSat, но после аварий Протона запуск этого спутника, изготовленного на российской платформе и носящего название Сибирско-Европейский спутник, откладывался. Изучение ситуации по материалам наиболее полного сайта, посвященного спутниковым системам, [www.lyngsat.com](http://www.lyngsat.com) привело к еще одной возможности организации Интернет канала - сотрудничеству с компанией Орион. Они предлагают услуги со

спутника, расположенного  $12^\circ$  западной долготы, но планируют перейти на EuroStar1, в настоящее время выведенного на  $45^\circ$  в.д. К сожалению, переговоры с менеджерами не дали ясной картины по первоначальным затратам и стоимости эксплуатации и, кроме того, нас не устроила антенна диаметром 2,5 метра.

Весной-летом 2000 года наконец-то были запущены новые спутники Eutelsat SeSat и Eutelsat W4, заменившие старые Eutelsat ПФ3 и Бонум в точке  $36^\circ$  в.д. Эти спутники обеспечили высокую энергетику луча  $> 48$  дБВт в Европейской части России и Сибири. Первые же измерения в июле дали положительный результат для соотношения сигнал/шум в 11.2 дБ на антенне диаметром 1,2 метра, а спутниковый приемник выделил сигнал от ГМД.

### **Стандарты для спутникового Интернет**

В этом разделе речь пойдет о стандартах, используемых для организации дуплексного спутникового канала в Интернет. Среди основных способов организации связи следует упомянуть VSAT (Very Small Aperture Terminal) – общее название для станций с диаметром антенны менее 3.8 метра и DVB (Digital Video Broadcast). Для широкополосного приема на скоростях от 2 Мбит/с до 45 Мбит/с IP пакетов используется телевизионный стандарт DVB, использующий протокол сжатия MPEG-2. Все крупные спутниковые провайдеры, включая НТВ-Интернет, используют именно этот протокол.

Однако для небольшого пользователя, желающего организовать дуплексный канал, совсем не нужны высокие скорости исходящего канала начиная с 2 Мбит/с, поэтому для него предпочтительнее технология VSAT с технологией модуляции QPSK, позволяющая работать на скоростях от 64 Кбит/с до 2,048 Мбит/с. Не следует также забывать о стоимости оборудования: DVB конвертор обойдется как минимум в сотню тысяч долларов, весь комплект VSAT, включая передатчик и стоимость таможенного оформления, вряд ли будет стоить больше 30 тыс. долларов.

Поэтому, лучшая технология для одностороннего приемного канала DVB, а дуплексного канала QPSK/DVB, когда для передачи информации используется VSAT (QPSK), а для приема DVB. Естественно, построенный таким образом канал всегда будет ассиметричным.

### **Оборудование ЗС СС**

Основное требование, которое предъявлялось при подборке оборудования узла

- это наличие российского сертификата соответствия оборудования. Исходя из этого, удалось подобрать следующий универсальный состав оборудования:

- наземная станция спутниковой связи Lambda Space 120
- маршрутизатор CISCO 2611
- DVB приемник Telemann DTR5000N
- два сервера под управлением операционных систем Linux, FreeBSD с программным обеспечением DNS, mail, http, ftp, news proхu и системой учета трафика
- система резервирования питания на базе Smart UPC, мощностью 1400 Вт

Наземная станция спутниковой связи LS120 состоит из блоков:

- Приемопередатчик для спутниковой связи K-Star производства фирмы SSE Telecom ([www.sset.com](http://www.sset.com)), Inc.,
- Спутниковый модем SM3000 производства фирмы SSE Telecom, Inc.,
- Спутниковый терминал K-StarLink производства фирмы SSE Telecom, Inc.

Этот состав оборудования полностью покрывает потребности необходимые для организации ЗС СС и является универсальным, то есть не зависит от особенностей провайдера, который со своей стороны должен поставить дополнительный спутниковый модем и выделить порт на маршрутизаторе.

Схема данного универсального узла представлена на **рис. 2.3.1**.

Вне помещения узла связи размещается терминал, включающий антенну, Low Noise Block (LNB) и высокочастотную часть, а также передатчик. Для подключения необходимо подвести два коаксиальных кабеля, один для

несущей частоты передатчика 70 МГц, другой для приемного телевизионного сигнала (L-band), и кабель питания 220 В. Настройка на спутник осуществляется при помощи обычного анализатора спектра, который используется для поиска телевизионных каналов. Управление оборудованием осуществляется терминальной программой или по telnet (CISCO, Telemann).

В настоящее время появился модернизированный комплект оборудования Shiron ([www.shiron.com](http://www.shiron.com)). Он работает с новыми пользовательскими терминалами, которые обладают большими возможностями (в частности и DAMA). Обычную систему с выделенной полосой обратного канала использовать для организации каналов резервирования не выгодно т.к. частотная емкость должна быть постоянно закреплена за конкретной станцией. Система SHIRON DAMA напротив выделяет по требованию каждой станции частоту из общего пула доступного для всех терминалов. Она работает на скоростях 64-128-256К.

В этой системе модем в виде отдельной карты смонтирован в основном блоке RNMA (на базе стандартного PC) вместе с остальным оборудованием, расположенном на узле (indoor-unit). Рабочие частоты приемо-передающей части ограничены L-band, а не полосой 70МГц и усилитель соответственно тоже. Протоколы (QPSK/DVB) остаются неизменными - только в IP маршрутизация выполнена с использованием технологии NAT (Network Address Translation).

Недостатки по сравнению с универсальным комплектом - отсутствие российского сертификата соответствия и более низкая скорость передачи - у универсального комплекта она может достигать 2,048 Мбит/с.

### **Цены и потенциальные потребители**

Стоимость спутникового Интернет намного выше, чем наземного, но только в том случае, если потребитель может организовать цифровой наземный канал. Это определяется более высокой ценой аренды самого канала связи. Но если Вам доступны только аналоговые каналы, то альтернативы нет. Ориентировочно можно говорить о сумме 120 Евро за Гбайт.

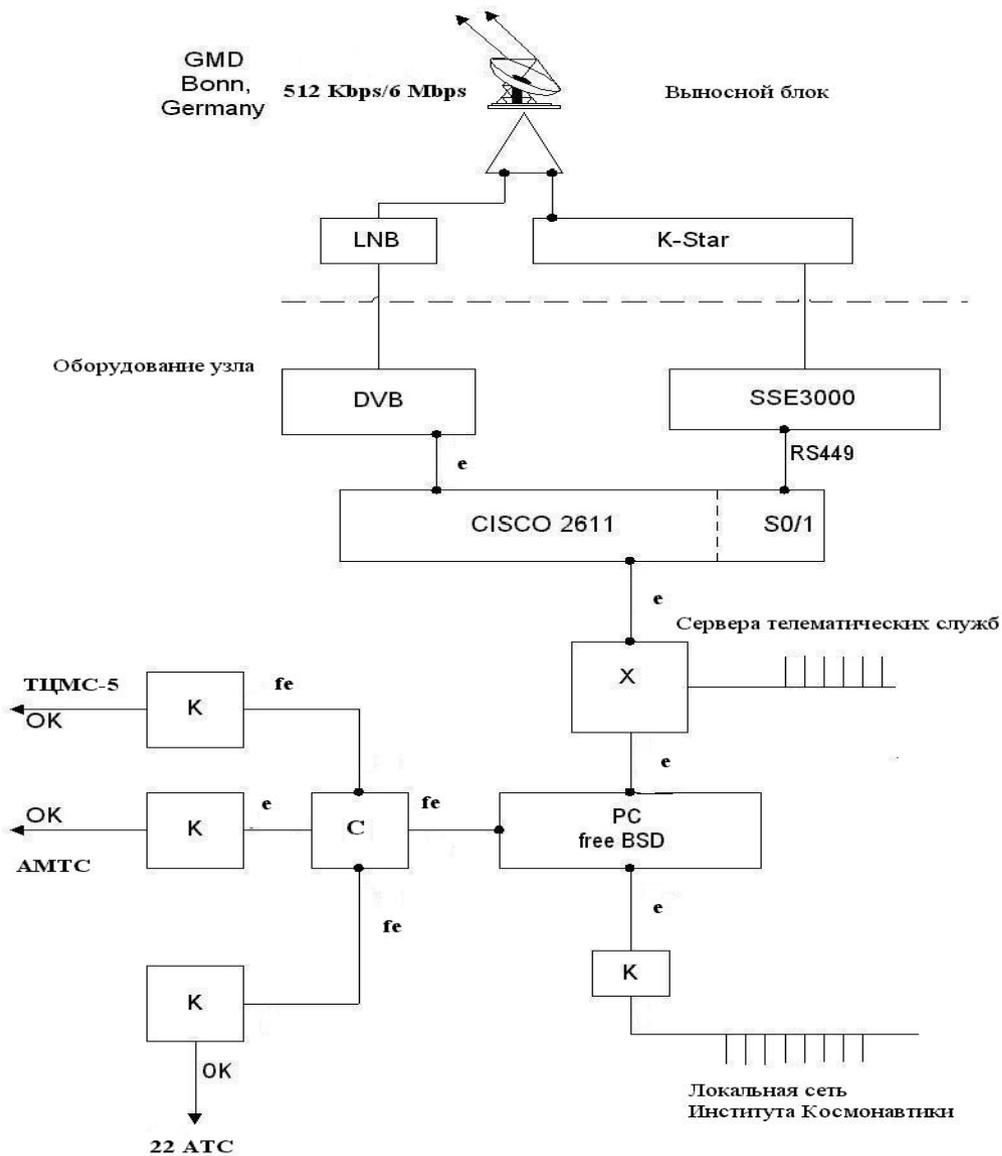
Хотелось бы также перечислить категории пользователей, которым бы данный сервис был бы полезен:

- крупные и средние предприятия, расположенные в труднодоступных частях нашей Родины, если к ним невозможно организовать цифровые каналы
- Интернет-провайдеры городов населением от 100 тысяч человек, также не обеспеченные современными линиями связи
- Точки обмена трафиком в крупных городах для резервирования каналов

В заключение, мне бы хотелось поделиться соображениями о путях по инсталляции подобной системы. Начинать надо с реализации приемного узла, это потребует сравнительно небольших затрат (до 5 тыс. Евро) и минимума времени - до одного месяца. Единственное условие - наличие наземного канала связи в Интернет. Параллельно сразу же надо приступать к оформлению разрешения на использование частот в ГКРЧ. Это многоступенчатая бюрократическая процедура без ясных сроков прохождения бумаг и четких требований. Например, выясняется, что кроме сертификата соответствия необходимо также заключение о совместимости оборудования с радиоэлектронными средствами гражданского применения.

Перед этим также необходимо найти решение ГКРЧ о разрешении эксплуатации спутника связи, но не просто указать его номер, а снять копию и него и карт тактико-технических данных. Найти все это в наш век преобразований простому потребителю из провинции практически невозможно. А с этим решением связано разрешение на приобретение передающего устройства. Остается только надеяться на упрощение процедуры получения радиочастот для спутниковой связи, как это было сделано с лицензированием. Тем более что мощность ЗС СС для Интернет минимальна (400 мВт-1 Вт), велик угол на спутник, а соответственно возмущение, возникающее при ее эксплуатации очень мало.

Рис.2.3.1. Схема организации каналов связи



Обозначения на схеме:

- ◆ X - концентратор 3COM
- ◆ К - конверторы сети Ethernet (e) или Fast Ethernet (fe) с витой пары на оптоволокно
- ◆ С - коммутатор Ethernet CISCO Catalyst 2912
- ◆ ТЦМС-5 - Территориальный центр междугородних связей и телевидения №5 Ростелекома
- ◆ АМТС - автоматическая междугородная телефонная станция
- ◆ DVB - телевизионный спутниковый приемник Telemann DTR5000N

◆ LNB - low noise block, входит в состав спутникового терминала

Телекоммуникационное сопровождение миссии «Фотон-12»

Результатом наших усилий по созданию телекоммуникационной инфраструктуры для поддержки аэрокосмических проектов явилось создание Центра пользователей системы «Фотон», организованном в Самаре [6, 61]. Из этого центра, равно как и из центра ESRANGE, в Кируне, Швеция, персонал ЕКА наблюдает за полетами, из которых хотелось бы отметить миссию «Фотон-12».

Из Кируны с помощью оборудования TeleScience велось управление и анализ экспериментов FluidPac. Самара, находясь на прямой связи с Центром управления полетом (ЦУП) в Москве, контролировала состояние спутника и эксперименты, а также руководила операцией по эвакуации спускаемого аппарата после посадки.

Первый после запуска прием телеметрии показал, что все системы работают хорошо. Во второй день полета – 11 сентября в одной из подсистем установки FluidPac возник необъяснимый сбой, который прервал штатное выполнение эксперимента MAGIA. Судя по сообщениям телеметрии, не было правильно выполнено переключение между двумя режимами оптической диагностики, и эксперимент завис на промежуточном этапе.

Было высказано предположение, что бортовое программно-временное устройство не смогло сбросить программное запирающее процесс. Московский ЦУП выдал последовательность команд на повторение цикла подачи энергии к системе FluidPac, т.е. перезапустил таймер установки.

Данные телеметрии, полученные Москвой и Самарой на 31-м и 32-м витках, показали, что эксперимент MAGIA возобновился в нормальном темпе. Операция по спасению FluidPac стала превосходной демонстрацией успешного сотрудничества между ESRANGE, ЦУП и ЦСКБ. Надежная сеть передачи данных также стала ключевым элементом успеха [29].

## **2.3. LINUX КАК ОСНОВНАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЗЛА INTERNET**

Linux - операционная система для различных платформ, в том числе IBM PC совместимых персональных компьютеров на базе процессоров Intel, AMD, Power PC и т.д.

Будучи разработанной в начале 90-х годов она стала практически одной из наиболее популярных операционных систем, применяемых на рабочих станциях и серверах сетей различных степеней иерархии.

С финансовой точки зрения Linux обладает одним весьма существенным достоинством - это бесплатная система. В отличие от ОС UNIX Linux распространяется бесплатно по генеральной открытой лицензии GNU в рамках Фонда бесплатного программного обеспечения, что делает эту систему доступной для всех желающих. Linux защищена авторским правом и не находится в общедоступном пользовании, однако открытая лицензия GNU - это почти то же самое, что и передача в общедоступное пользование.

Нам данная операционная система была рекомендована в рамках проекта INTAS EmNet/NIS/PhaseII, где я выполнял роль лидера группы (Team Leader). В рамках этого проекта на основе Linux был запущен в 1995 году первый канал Internet из Самары до Москвы (Президиума РАН).

Можно сказать, что операционная система Linux доказала свою техническую пригодность для полного обслуживания достаточно разветвленной компьютерной сети ВУЗа или научного учреждения. На основе этой операционной системы осуществляются разработки по следующим направлениям:

1. Установка и организация почтовых серверов, в том числе станций, отвечающих за службы удаленного доступа.
2. Последовательная модернизация и динамическое обновление содержания и тематик страниц Web-сервера.

3. Обслуживание, и также постоянное динамическое обновление FTP сервера, выполняемое в частично автоматическом режиме.
4. Организация прямого и удобного доступа к аппаратным средствам и оборудованию, обслуживающему компьютерную сеть.
5. Установка систем идентификации и контроля при работе с маршрутизаторами удаленного доступа типа CISCO.
6. Установка рабочих станций удаленного доступа для работы как по выделенным, так и по коммутируемым линиям.
7. Освоение нового программного обеспечения для служб новостей. На всех этих серверах установлена система Linux Slackware.

Доступ к каждому коммутатору локальной сети возможен как с помощью telnet, так и по консольному порту с помощью любой терминальной программы под Linux (типа minicom или kermi), причем операционная система Linux является в этом случае просто незаменимой при контроле над несколькими процессами на различных устройствах.

Операционная система Linux RedHat является пока только экспериментальной в применении. Linux Redhat установлена на сервере, обслуживающем сеть Самарского научного центра РАН и зарекомендовала себя с лучшей стороны, в основном в удобстве обслуживания и конфигурации.

Службы удаленного доступа СГАУ.

Одним из достижений Самарского Государственного Аэрокосмического университета стала возможность подключения сотрудников университета к сети Интернет с помощью службы удаленного доступа. Служба организована в 1997 году на основе протокола PPP при использовании маршрутизатора CISCO 2511, имеющего 16 асинхронных портов. Соответственно, имеется возможность подключения 16 модемов с расчетной нагрузкой каждого модемного канала в 10-15 пользователей. На данный момент для обеспечения службы удаленного доступа на 34 АТС задействовано 12 модемов и, соответственно, 12 телефонных линий.

На сервере удаленного доступа, rs34.ssau.ru, установлен Radius-Server, служащий для идентификации (используется Password Authentication Protocol - PAP) и авторизации пользователей. Radius-Server поддерживается системой команд маршрутизатора CISCO 2511 и позволяет регулирование и лимитирование доступа пользователей в автоматическом режиме. Когда служба удаленного доступа университета только зарождалась, в тестовых целях для проверки правильности работы аппаратных и программных средств подключение клиентов производилось без всяких ограничений, однако на сегодняшний день введен временной лимит размером в один час непрерывной работы в целях обеспечения относительного равноправия доступа пользователей к Internet.

Опрос людей, подключенных через к Internet через СГАУ, показал, что в относительно большом числе случаев подключение происходит без особых проблем и с удовлетворительной скоростью. Единственное, были высказаны пожелания об увеличении количества телефонных линий для облегчения дозвона и более мягком перераспределении количества dial-up пользователей.

Как показывает практика, подключение к службе удаленного доступа обычно производится программными средствами операционной системы Windows, и практически только два/три человека используют для этих целей ОС Linux. Такое соотношение и большой численный перевес в сторону Windows объясняется достаточно большой ее популярностью и элементарной простотой настроек, сводящихся к ручному введению имен DNS серверов и установок для динамического присваивания IP-адресов. Данный процесс в Linux, без сомнения, займет несколько больший отрезок времени и для неискушенных пользователей потребует предварительного чтения документации и инструкций.

Применение операционной системы Linux в несколько раз облегчает контроль и управление системой удаленного доступа, так как все

необходимые операции могут производиться удаленно, например, с центрального узла.

Единственную сложность для dial-up клиентов составляет процесс дозвона на каждый из модемов по причине большого числа пользователей, приходящихся на каждый конкретный модем. В некоторых случаях работа пользователей даже в ночные часы по модемным линиям очень сильно затруднена из-за того, что большинство АТС города Самара не являются цифровыми. По этой причине качество связи ухудшается в несколько раз, причем при наличии сильных помех в линии это приводит к внезапному обрыву связи. Среди цифровых АТС, обеспечивающих стабильную и надежную связь, можно назвать АТС 70, АТС 16, АТС 94, АТС 41, АТС 42, АТС 99 причем скорость соединения в некоторых отдельных случаях достигает своего теоретического предела (33,6 Kbps).

Почтовые службы сети Internet СГАУ

Конечно же, неотъемлемой частью для каждого пользователя сети является возможность общаться посредством электронной почты. Статистика показывает, что все большее и большее количество фирм, мелких и средних компаний прибегают к услугам электронной почты для общения с клиентами, составления договоров с поставщиками и инвесторами. Обычному же рядовому пользователю достаточно обычной переписки между друзьями, знакомыми, родственниками (если же он не занимается индивидуальной коммерческой деятельностью). Почтовые службы почтовых серверов сети СГАУ используют программу sendmail для отправки и получения сообщений. Для передачи электронной почты по Internet используется протокол SMTP (Simple Mail Transport Protocol). Sendmail уже зарекомендовал себя с хорошей стороны и благополучно без проблем используется на почтовом сервере СГАУ mb.ssau.ru, а также на сервере удаленного доступа rs34.ssau.ru. Sendmail считается одной из мощных почтовых агентов, конфигурирование которого оказывается не столько сложным, как это описывается в литературе.

Некоторые пользователи компьютерной сети СГАУ имеют почтовые ящики на центральном сервере СГАУ, mb.ssau.ru, и имеют возможность читать свою электронную почту, используя свое клиентское программное обеспечение и считывая входящие сообщения по протоколу POP3, который поддерживается многими почтовыми приложениями для Windows.

Клиенты службы удаленного доступа также получают свой персональный почтовый ящик. Возникают, правда, некоторые затруднения, связанные с переполнением файловой системы сервера удаленного доступа из-за "своп"-почты, приходящей на какой-либо из выделенных ящиков. Причем это переполнение не только не позволяет пользователю этого ящика считывать сообщения, но и блокирует доступ к почтовым ящикам других клиентов.

С целью предотвращения подобных случаев будут предприняты попытки относительного ограничения емкости каждого ящика до определенного среднего вычисленного размера.

У пользователей Linux Slackware и Linux Redhat большой популярностью пользуется программа Pine, которая соединяет в себе возможности отправки и получения почтовых сообщений и чтения групп конференций.

#### Протоколы динамической маршрутизации

В связи с большой сложностью современных IP сетей поддержка таблиц маршрутизации вручную представляет собой непростую задачу и чревато большим количеством ошибок. Для облегчения работы системных администраторов разработаны различные протоколы динамической маршрутизации, наиболее распространены на сегодняшний день RIP, OSPF, BGP. Эти протоколы отличаются своей функциональностью и сферой применения, но их общее свойство - обеспечение автоматического обновления таблиц маршрутизации при изменении топологии сети.

Протоколы динамической маршрутизации являются важной и неотъемлемой частью специализированных устройств - маршрутизаторов. Наиболее известные фирмы производители подобных устройств - Cisco, Bay Networks, Motorola, Intel.

Однако одна из наиболее мощных реализаций протоколов динамической маршрутизации - программа `gated`, функционирующая под управлением Unix-подобных операционных систем и, в частности, Linux. По количеству поддерживаемых протоколов динамической маршрутизации (HELLO, RIP версий 1 и 2, OSPF, IS-IS) и удобству конфигурирования она превосходит специализированные маршрутизаторы, за исключением, пожалуй, только оборудования Cisco. Причем на этапе экспериментов и отладки `gated` на порядок удобнее.

Программа `gated` реально применялась для связи автономных систем RELARN и СГАУ с использованием протокола BGP4.

### FireWall

При подключении локальных сетей к Internet перед системным администратором возникает вопрос: какие IP адреса использовать в сети, реальные или приватные? Учитывая стоящие всегда на повестке дня проблемы дефицита реальных IP адресов и защиты сети от внешнего вмешательства, наиболее предпочтительным решением этого вопроса видится использование приватных IP адресов (таких как 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16) и подключение компьютеров используя возможности IP-masquerading или через Proxy-сервер. Возможности IP-masquerading встроены в ядро Linux. С помощью дополнительной утилиты возможна такая настройка, что вся локальная сеть будет для внешнего мира видна под определенным IP адресом.

### Сервер новостей

Наиболее популярным из off-line'овых способом обмена мнениями сейчас являются группы новостей, где каждый может задать вопрос, высказать свое мнение или суждение по той или иной проблеме. News-сервер СГАУ построен на основе коммерческого продукта DNews. Данный сервер распространяется бесплатно для образовательных учреждений. Сервер DNews отличается простотой установки и конфигурации, мощными средствами для управления распределением дискового пространства и

оперативной памяти, что особенно важно при ограниченных ресурсах. Также вместе с сервером поставляются удобные утилиты позволяющие менять конфигурацию сервера на ходу без его перезапуска, управлять структурой базы данных, конфигурировать фильтры защиты от SPAM'а. С помощью отдельной программы, входящей в комплект поставки, можно организовать гейт из news-сервера в WWW-сервер, т.е. любой пользователь может читать и отсылать сообщения на news-сервер не с помощью специализированной программы, а с помощью стандартного WEB-браузера. Сервер поддерживает сбор статистики, что позволяет выделить под часто требуемые группы большее дисковое пространство, а количество сообщений, хранящихся на сервере, из не востребуемых групп, сократить практически до нуля.

#### Web-сервер СГАУ

Web-сервер СГАУ построен на основе программного комплекта APACHE, используемого с операционной системой Linux.

На этом сервере в 1998 году также выполнена региональная поисковая система (<http://www.ssau.ru/cgi-bin/search/search>) - в настоящее время не поддерживается.

В качестве заключения хотелось бы отметить, что применение ОС Linux в таких сетях, как СГАУ, полностью оправдано. Самыми главными аспектами данного вопроса являются надежность, защищенность и удобство конфигурации. Несложно заметить, что компьютерная сеть СГАУ развивается довольно быстрыми темпами, и управление ею в целом будет осложняться лишь большим количеством рабочих станций сети. А ее эффективность и производительность будет определяться правильным выбором оборудования и программного обеспечения

## **2.4. СОЗДАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА ИНТЕРНЕТ**

В условиях стремительного роста трафика российских научно-образовательных сетей и наметившегося перехода к технологиям сетей

нового поколения (NGN) все более значительным становится вклад средне и высокоскоростных Интернет приложений. Успешное внедрение таких приложений, как высококачественные видеоконференции, grid инфраструктур, р2р проектов предъявляет определенные требования к параметрам сети.

Для построения аналитических моделей вышеупомянутых Интернет процессов и их проверки необходима экспериментальная база, позволяющая определять основные параметры качества сетевых соединений.

В США для составления наиболее полной картины национальных сегментов глобальной сети, его мониторинга, поиска узких мест, а также разработки стандартов и создания условий для внедрения новых протоколов и т.д., создана подобная национальная измерительная инфраструктура. Причем финансируется ряд конкурирующих проектов (AMP, NIMI, Skitter, PingER), различающихся по типу исследуемых соединений, например, предназначенных для высокопроизводительных вычислений, grid, исследований в области ядерного оружия и т.д.

Разработка и поддержка таких систем осуществляется ведущими научными центрами, а деньги на их разработку выделяют преимущественно оборонные ведомства. Хотя и фонд фундаментальных исследований (National Science Foundation) не остается в стороне.

В Европе создание подобной инфраструктуры в полном объеме еще только запланировано и будет осуществлено в рамках проекта GEANT2 (GN2/JRA1). Однако все предварительные работы уже проведены и создано собственное решение, включая программное обеспечение (RIPE NCC Test Traffic Measurements).

В России существует несколько измерительных точек разных проектов, например PingER в ИТЭФ, но полный доступ к собранным данным ограничен. Кроме этого, подобные точки не отражают структуру российского сегмента глобальной сети. В России, начиная с 2004 года, центром научных телекоммуникаций РАН начаты работы по изучению свойств сетевых

соединений с гарантированным качеством, которые пока не применяются на действующей магистральной сети.

Хотелось бы дать краткое описание существующих систем. Такие системы представляют собой совокупность измерительных точек, разбросанных по территории страны и основной центр, где производится анализ всех полученных данных. Среди методов измерений различают пассивные и активные. Пассивные методы измерений используют данные с узлов сети (маршрутизаторов). Ранее это была информация на уровне пакетов, в последнее время все более распространенным методом становится анализ на уровне потоков (flow), которые объединяют группы пакетов, соответствующих одному TCP или UDP соединению. Это может быть, например, передача файла по ftp протоколу. Активные методы основываются на утилитах, которые инсталлированы на базе измерительных точек, и которые посылают сигналы в сеть и анализируют отклики.

Естественно, что в настоящее время создано большое количество подобных утилит, в том числе и коммерческих. В России также созданы коммерческие продукты для тестирования, администрирования и управления сетями и приложениями, например, PROLAN ([www.prolan.ru](http://www.prolan.ru)). Однако, целостной системы тестирования, покрывающей всю территорию страны, коммерческие фирмы создать не в состоянии и зарубежный опыт подтверждает этот факт.

Среди наиболее эффективных измерительных систем национальных сегментов сетей, действующих в течение длительного времени, можно отметить следующие системы:

- AMP (Active Measurement Program for High Performance Computing, <http://amp.nlanr.net/AMP/>) исследующий телекоммуникационную инфраструктуру, используемую для высокопроизводительных вычислений. Разработан и поддерживается the National Laboratory for Applied Network Research (NLANP).
- NIMI (National Internet Measurement Infrastructure, <http://www.ncne.org/nimi/>) предназначен для изучения глобальной сети,

в том числе и вне пределов США. Спонсируется в том числе и оборонным агентством, создавшим Интернет, DARPA (The Defense Advanced Research Projects Agency).

- PingER (<http://www-iepm.slac.stanford.edu/pinger/>), проект, поддержанный Министерством энергетики США. Предназначен для мониторинга соединений между двумя конечными потребителями услуг сети.
- RIPE NCC Test Traffic Measurements (<http://www.ripe.net/test-traffic/index.html>), европейская система, показывающая качество соединений между Вашим сайтом и другими точками в глобальной сети.
- Skitter (<http://www.caida.org/Tools/Skitter/>), утилита, отслеживающая весь путь до интересующего систему адреса и показывающая узкие места на пути прохождения пакета. Поддерживается Cooperative Association for Internet Data Analysis (<http://www.CAIDA.org>), а спонсируется DARPA.

Перед началом создания эффективной измерительной инфраструктуры надо определиться с направлениями исследований, задачами, стоящими перед системой, и методами их достижения.

Среди основных направлений исследований нужно выделить следующие:

- Показатели качества связи
- Структура трафика
- Географическая структура российского сегмента
- Проблемы безопасности, включая методы борьбы со спамом (несанкционированными рассылками электронных сообщений)
- Интеграция измерительных механизмов с Европейскими и американскими сетями
- Экономические показатели

В рамках этих направлений система должна измерять ряд простых параметров, которые в дальнейшем будут анализироваться и на этой базе будут созданы модели, описывающие поведение сети и отдельных приложений.

Например, для оценки показателей качества сети достаточно получать flow-информацию с ближайшего маршрутизатора и измерять несколько параметров, таких как:

- Задержка пакетов (round trip time)
- Потери пакетов при передаче (packet loss rate)
- Вариации задержки (jitter)
- Уровень загрузки канала (utilization)

При этом должна быть решена проблема синхронизации времени для всех измерительных точек. Для этого необходимо или устанавливать GPS (Global Positioning System) приемники или устанавливать серверы NTP (Network Time Protocol). Дополнительные требования к измерительной системе также предъявляются при исследовании сетей с поддержкой QoS и особенно межоператорских зон SLA (Service Level Agreement).

Структура трафика, включая распределение по протоколам, соотношение входящего и исходящего потоков и т.д., является одним из важных показателей сетей. Полезным представляется проследить и динамику этого показателя

Проблемы безопасности должны быть сосредоточены, в первую очередь, на выявлении

- Источников рассылки рекламных сообщений (spams)
- Центров по организации несанкционированного доступа
- Источников вирусов и связанных с ними сбоев в работе сети

При выяснении географической структуры существенное значение имеют следующие вопросы:

- Распределение хостов по регионам. Для описания степени развития интернет в регионе можно ввести показатель числа активных хостов (работающих одновременно в дневное время) на 1000 жителей.
- Общий объем потребляемого трафика
- Число информационных источников, их размеры и объем востребованной с них информации
- Выявление регионов, экспортирующих и импортирующих информацию из сети
- Число автономных систем
- Кластеризация сетей. Выяснение распространенности тем или иных общероссийских провайдеров и количества больших частей (кластеров) в российском сегменте интернет, общающихся между собой через заграничные маршрутизаторы.

К экономическим показателям сети могут быть отнесены

- Общий объем рынка IP услуг по регионам
- Темпы развития региональных сегментов
- Анализ ценовой политики

Отдельные измерительные точки, разбросанные по территории страны, смогут выдавать только ряд простых параметров, которые для составления целостной картины в рамках каждого направления исследований должны быть обработаны и интерпретированы в едином центре. Причем, таких центров должно быть несколько, так как задачи стоящие перед измерительной инфраструктурой сильно различаются.

Проблема заключается в определении методики обработки данных. Конечно, по ряду направлений существуют уже готовые программные продукты, как коммерческие, так и некоммерческие. Однако, для множества задач подобные исследования еще не проведены и будет необходимо систематизировать поступающие данные, а также составлять соответствующие аналитические модели.

По ряду направлений часть исследований уже проведена, есть или готовые утилиты, или модели поведения систем. Например, в области оценки качества сети разработаны методы оценки качества магистральных каналов Интернет [3], в ИТЭФ РАН созданы оригинальные программы для измерения показателей качества сетевых соединений, в ИКИ РАН [30] есть разработки, показывающие в реальном времени признаки несанкционированных действий в сети и сбоев, вызванных вирусами.

Проблемы, которые предполагается решить в рамках данного проекта, заключаются в разработке методик интерпретации данных. Наши усилия предполагается направить на разработку критериев для оценки качества последнего поколения научно-образовательных приложений:

- грид-инфраструктур (распределенные вычисления),
- современных средств аудиовизуальной связи, включая высокоскоростные видеоконференции,
- передачи оцифрованной экспериментальной информации, собранной в различных областях знаний,
- высокоскоростного доступа к научным публикациям и цифровым библиотекам

Указанные приложения предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности. Данный проект нацелен на анализ существующей сетевой инфраструктуры RNet для определения условий функционирования последнего поколения научно-образовательных приложений.

Еще одна область, где существующие фундаментальные разработки помогут в составлении общей картины, это географическая структура сети. Оценить реальное число пользователей, одновременно работающих в крупной региональной сети достаточно сложно. Методы, основанные на сканирование недостаточно точны, так как большинство сетей или защищены от

сканирования, или вообще недоступны из-за использования технологии (NAT, Network Address Translation). Исследования, проведенные на мехмате МГУ [6], показали, что поведение пользователя может быть описано нормальным (гауссовским) распределением, то есть можно ввести показатель усредненного пользователя сети. Тогда анализируя данные по числу потоков на региональных маршрутизаторах можно оценить количество пользователей.

Подобные примеры можно продолжить, но все они свидетельствуют о том, что фундаментальные исследования могут и должны быть продолжены.

Основой измерительной инфраструктуры будет служить универсальная измерительная точка, опытный образец которой будет смонтирован в межвузовском медиа центре г. Самара, две другие точки будут инсталлированы в Москве и Новосибирске: при узле RBNet и управляющем узле FRENnet в ИОХ РАН (Институте органической химии Российской Академии Наук). В ее состав включаются три основных блока:

1. RIPE test box представляет собой персональный компьютер (желательно в стоечном исполнении) под управлением ОС Linux. В его состав входит также GPS приемник Acutime 2000 (<http://www.ripe.net/test-traffic/>) для синхронизации данных по времени с точностью 80 нс. Этот блок даст возможность измерять качество соединений с множеством других точек, так он будет автоматически включен в глобальную измерительную инфраструктуру.
2. Сервер анализа приложений будет запускать программное обеспечение, предназначенное специально для анализа выбранного приложения. Так аудиовизуальные потоки можно изучать при помощи H.323 Weacon Tool, а грид системы исследуются при помощи своего индивидуального пакета. Единственное универсальное программное обеспечение, собирающее данные обо всех пакетах в локальной сети и содержащее множество анализирующих фильтров для различных

типов приложений, которое будет применяться при решении всех задач, это пакет Ethereum.

3. Мобильная измерительная точка (только для Самары) на основе ноутбука, которая может быть легко перемещена в пределах изучаемой сети. Кроме этого, с нее будут запускаться специально генерируемые потоки информации (например, видеоконференции)

Для определения структуры передаваемой информации, исследований в области безопасности необходима статистка, собранная с помощью NetFlow, установленного на пограничном (BGP) маршрутизаторе исследуемой сети. Специальная программа, созданная в Институте Космических Исследований РАН, позволяет выделить первичную информацию, необходимую для дальнейшей обработки с целью выделения любых составляющих трафика, в том числе и доли современных научно-образовательных приложений, а также сведений по источникам спаймерских рассылок. В рамках данного проекта мы надеемся сформулировать способы и алгоритмы вторичной обработки данных, позволяющих оценивать общий трафик по интересующим нас приложениям и определять наиболее активные источники, генерирующие подобный трафик.

Построенная в рамках данного проекта [26] измерительная система будет интегрирована в современные проекты, осуществляемые в Европе и США. Прежде всего, предусматривается совместимость измерительных механизмов с европейским проектом GN2/JRA1, а также с проектом E2Epi. Этот этап продлится в течение 2005 года.

### ГЛАВА 3. ТЕСТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ

У пользователей Интернет, равно как и у персонала компаний, предоставляющих услуги Интернет, часто возникает вопрос, как оценить качество связи и найти в сети «узкие» места? К сожалению, в настоящее время нет единого подхода и общепринятых тестов для решения данной задачи. При этом в России, особенно в провинции, пользователи, подключенные к Интернет, зачастую не имеют ни малейшего представления об инфраструктуре вышестоящей сети, ее пропускной способности и качестве предоставляемых услуг.

В настоящей главе основное внимание уделено разработке методологии определения качества соединений в глобальной сети, для того чтобы внедрить последнее поколение научно-образовательных предложений в региональных сетях для науки и образования.

Эти приложения предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности. В рамках данной работы проведены экспериментальные и теоретические исследования для определения требований, предъявляемых к сети для пропуска высокоскоростного трафика (аудио, видео и грид), построена измерительная инфраструктура для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети.

К сожалению, в настоящее время нет единого подхода и общепринятых тестов для определения качества сетевых соединений. Настоящая глава посвящена разработке таких критериев на базе модели трафика, основанного на понятии потоков (flow) [117]. Под потоком понимается обобщенное понятие, соответствующее любому интернет соединению (TCP, UDP, ICMP) с рядом фиксированных параметров, основными из которых являются IP-адреса отправителя и получателя, соответствующие номера портов и номер протокола. Исследовать поведение сети на основе

поточковых технологий значительно удобнее, такое исследование требует меньших затрат.

Используя результаты теории массового обслуживания, получены два выражения, описывающие трафик опорной сети (backbone), которые имеют разные области применения [120]. Продемонстрировано, что кривая показывающая зависимость утилизации Интернет соединения от числа активных потоков в нем позволяет описать различные состояния сети [3]. Предлагается методика построения такой кривой на основе данных протокола NetFlow, полученных с маршрутизаторов Cisco. После построения данной кривой на ней легко выделить рабочий участок и точку перегрузки, что позволяет определить момент, когда данный канал должен быть расширен.

### **3.1. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ**

Моделирование трафика на пакетном уровне - задача довольно сложная, так как канальный трафик есть результат суммирования трафика огромного числа отдельных соединений. Недавно появился новый подход, основанный на представлении трафика в виде совокупности потоков (flow). Под потоком понимается обобщенное понятие, соответствующее любому интернет соединению (TCP, UDP, ICMP) с рядом фиксированных параметров, основными из которых являются IP-адреса отправителя и получателя, соответствующие номера портов и номер протокола. Исследовать поведение сети на основе потоковых технологий значительно удобнее, такое исследование требует меньших затрат. В этой главе хотелось бы представить простой тест, позволяющий судить о качестве сети и ее реальной пропускной способности.

До недавнего времени операторы коллекционировали статистические данные на уровне пакетов. Обработка таких данных достаточно сложна, в первую очередь из-за их большого объема, и требует

высокопроизводительного оборудования, сложного программного обеспечения и квалифицированных программистов.

Обычно для оценки качества работы сети используют следующие характеристики:

- уровень загрузки канала (utilization level);
- время доставки пакета (one way delay), которое в простейшем случае может быть оценено по данным команды ping
- вариация в задержке пакета или джиттер
- количество потерянных пакетов (packet loss rate).

Если последние три характеристики служат в основном для оценки качества соединения между двумя удаленными точками (end-to-end), то уровень загрузки канала применяется для мониторинга канала между двумя соседними маршрутизаторами (hop).

В этой главе будет сделана попытка найти наиболее подходящий параметр для сравнения качества соединений. В результате исследований проведено четкое соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и значениями данного параметра.

Крупные зарубежные компании руководствуются своими собственными техническими условиями для оценки пиковых нагрузок магистральных соединений, по достижению которых требуется расширение каналов. Эти пиковые значения варьируются в пределах 35-60%. Так, международный телекоммуникационный гигант Спринт (Sprint) считает невозможным эксплуатацию каналов с пиковой загрузкой выше 50% [84]. Подобные вопросы постоянно обсуждаются на конференциях, таких, как ACM SIGCOMM, IEEE Infocom и др., однако накопленные знания еще не достигли того уровня, когда появляется возможность выработать единый стандарт и соответствующее программное обеспечение для измерений.

Основное внимание в этой главе будет сосредоточено на мониторинге каналов при помощи потоковых технологии и определении момента, когда

требуется расширение канала. Предыдущие работы: Чек Фралеин и др. [84] сталкивались с подобными проблемами, когда они пытались понизить время доставки пакетов. В докладе на Инфоком 2003 Дина Пападжианнаки и др. [106] описали методику, базирующуюся на SNMP статистике, которая позволяет предсказать где и когда потребуется расширение пропускной способности для магистральных каналов.

Механизм сбора информации о потоках должен рассматриваться как пассивный измерительный механизм. Собранная подобным образом информация может быть использована для многочисленных целей:

- понимание поведения исследуемых сетей
- планирование развития сети
- определение производительности сети
- проверка качества сетевых сервисов
- исследование поведения отдельных пользователей

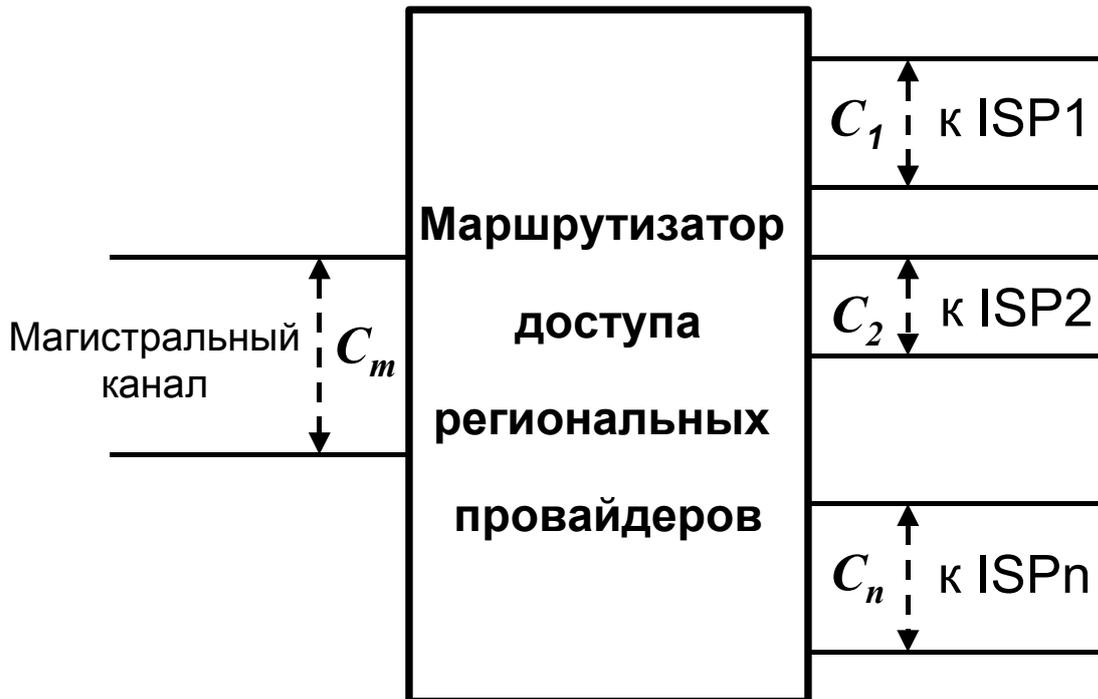
К сожалению, пока не сформировалось единое мнение по оценке качества связи, получаемой на магистральной сети и определению узких мест. Правило 50-ти процентной предельной загрузки сети также не всегда работает. Здесь хотелось бы привести подобный пример, когда формально это правило выполняется и только анализ информации на уровне потоков позволяет говорить о перегрузке сети.

В России и других странах, где магистральные сети покрывают огромные расстояния в сложных природных условиях, стоимость первичных каналов связи велика, а количество общенациональных операторов связи ограничено двумя-тремя. И только эти операторы предлагают региональным операторам подключение к национальной опорной сети. Для достижения наибольшей отдачи от магистрального канала емкостью  $C_m$  к нему присоединяется такое количество региональных провайдеров

(ISP – Internet Service Provider), что суммарная емкость их каналов  $C_i$  становится значительно большей, чем  $C_m$  :

$$\sum_{i=1}^n C_i > C_m \quad (3.1.1)$$

**Рисунок 3.1.1. Схема присоединения к магистральному каналу**



В этих условиях правило 50% формально выполняется для каналов  $C_i$ , ведущих к региональным сервис-провайдерам, однако качество связи предельно низкое, особенно для приложений реального времени, основанных на UDP протоколе, таких как передача голоса поверх IP протокола (VoIP), и тем более, для передачи видео. При этом возможность проконтролировать загрузку внешнего канала для персонала региональных операторов, а также получить сведения о схеме подключения, величине утилизации магистрального канала и т.п. , практически отсутствует. Предложенная в настоящей главе технология позволяет решить эти проблемы.

Чади Баракат и др. [62] предложили модель, которая позволяет на основе информации о потоках построить модель суммарного трафика на магистральном участке. В процессе моделирования предполагалось, что наблюдаемый трафик представляет собой суперпозицию большого количества потоков, которые прибывают случайным образом и остаются активными в течении случайного периода времени.

В настоящей работе представлен метод, согласно которому, чтобы проанализировать качество участка магистрали или канала к провайдеру, мы должны построить графическую зависимость между загрузкой канала и числом активных потоков в нем. Соответствующий механизм, основанный на пассивных измерениях, описан в RFC 2722 [110] (Traffic Flow Measurement: Architecture). В настоящее время имеется несколько программных реализаций этой архитектуры, среди которых следует упомянуть технологию Cisco NetFlow, потоковые пакеты RIPE (Reseaux IP Europeens) и NLARN (The National Laboratory for Applied Network Research). RIPE - это европейское подразделение организации IANA (<http://www.iana.org>), являющееся региональным сетевым координационным центром и интернет-регистратором. Задачи RIPE - выделение автономных систем и адресных блоков. Что же касается Национальной лаборатории прикладного сетевого исследования США (NLARN), то она занимается анализом глобальных сетей, в том числе вопросами, связанными с загрузкой каналов Интернет.

Измерения, о которых рассказано далее, проведены на сети самарской телекоммуникационной компании ЗАО "Самара Телеком", базирующейся на маршрутизаторах Cisco с настроенной поддержкой технологии NetFlow (доступна в версиях IOS начиная с 12.0(2)) и в сетях Ирландской национальной сети для науки и образования HEAnet ([www.heanet.ie](http://www.heanet.ie)).

СамараТелеком это крупная частная телекоммуникационная компания, работающая в Среднем Поволжье. Начиная с 1995 года, ею были введены в

строй узловые телефонные станции в Самаре и Тольятти, там же построены SDH кольца уровня STM-16 (2.5 Gbps); сданы мощные узлы по подключению конечных пользователей по технологиям Ethernet, xDSL, dial-up. Общая пропускная способность каналов, ведущих в Интернет, составляла на момент исследований 8 Mbps. Утилизация внешних каналов варьировалась от 5% до 60% в наиболее загруженный период. Одна из целей данного исследования состояла в том, чтобы оценить качество услуг, предоставляемых крупнейшими российскими операторами: Ростелекомом, Транстелекомом, Глобал Один и ГолденТелекомом.

HEAnet – оператор ирландской национальной сети для науки и образования, который использует несколько внешних каналов. На момент эксперимента это были подключения на скорости 622 Mbps к общеевропейской научно-образовательной магистрали GEANT и 155 Mbps канал к американским сетям. Мы использовали также результаты тестирований на сети GEANT и результаты работы группы по сетям новых поколений (TF-NGN) TERENA [80, 99].

### **3.2. ТЕСТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ**

Сначала отметим, что математическая модель Интернет-трафика на уровне потоков базируется на теории стохастических сетей. Основы этой модели были представлены на конференции ACM SIGCOMM в августе 2001 года Беном Фреди и др. [65] (доклад Statistical Bandwidth Sharing: A Study of Congestion at Flow Level). На основании представленной модели Чади Барракат и др. исследовали, в частности, трафик магистральных каналов сети Sprint OC-12 (622 Мбит/с) и усовершенствовали модель. Предложенная модель трафика для не перегруженных участков магистральной сети достаточно проста, и ее можно использовать в управлении сетью.

Модель опирается на понятие Пуассоновского составного шума (shot noise) [68,79]. С помощью только трех параметров ( $\lambda$  - параметр прибытия

потока,  $\mathbb{E}[S_n]$  - средний размер потока,  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$  среднее значение отношения квадрата размера потока к его длительности) модель предсказывает поведение средней величины загрузки канала и ее вариации за короткие промежутки времени. Данная модель опирается на следующие основные предпосылки:

- Появление новых потоков на исследуемом участке магистральной сети описывается однородным Пуассоновским процессом. Измерения, проведенные в работе Бараката и др. говорят о том, что  $\lambda$  остается постоянной в течении как минимум 30-ти минутного интервала. В общем случае, все соотношения могут воспроизводиться, если процесс прибытия потоков описывается более общими типами процессов, такими как Марковский процесс [60] или неоднородный процесс Пуассона.
- Обозначаем через  $T_n$  как время прибытия  $n$ -го потока,  $S_n$  его размер в байтах и  $D_n$  его длительность в секундах. Последовательности  $\{S_n\}$  и  $\{D_n\}$  независимы и идентично распределены.

Точный тип распределения зависит от типов рассматриваемых участков сети, однако представляется разумным, что его форма является типичным распределением Парето [78, 107] с тяжелым хвостом (heavy tailed):

$$\Pr[size \leq x] = 1 - \frac{k}{x^\beta}, \text{ для } x \geq k \quad (3.2.1)$$

с  $1 \leq \beta \leq 2$ , такое распределение имеет конечное среднее и бесконечно большую вариацию.

- Переменная, описывающая скорость потока (shot)  $X_n(\cdot)$ . Поток считается активным в период времени  $T_n \leq t \leq T_n + D_n$ . Определяем

$X_n(t - T_n)$ , как скорость  $n$ -го потока в бит/с, причем  $X_n$  равно нулю если  $t < T_n$  и  $t > T_n$ .

Обозначаем  $R(t)$  как общую скорость передачи данных в исследуемом участке сети в период времени  $t$ . Она определяется суммированием скоростей активных потоков:

$$R(t) = \sum_{n \in Z} X_n(t - T_n) \quad (3.2.2)$$

Процесс из уравнения (4.2.2) позволяет найти число активных потоков в момент времени  $t$  в очереди  $M/G/\infty$ , если  $X_n(t - T_n) = 1$  и  $t \in [T_n, T_n + D_n]$ .

Модель, предложенная Баракатом и др., позволяет определить среднее значение скорости передачи данных в исследуемом участке сети и ее вариации:

- Среднее значение скорости определяется двумя параметрами  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n]$ :

$$\mathbb{E}[R(t)] = \lambda \mathbb{E}[S_n] \quad (3.2.3)$$

- Вариация скорости  $V_R$  также задается двумя параметрами  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$ :

$$V_R = \lambda \mathbb{E}[S_n^2 / D_n] \quad (3.2.4)$$

Следует отметить, что уравнение (3.2.3) справедливо только для идеального случая, когда исследуемый участок сети имеет неограниченную пропускную способность. Это уравнение можно применять только к слабо загруженным участкам. Основным недостатком этого уравнения заключается в отсутствии четко определенной области применения, что объясняется тем фактом, что переменные  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n]$  никак не связаны с текущим состоянием сети. Средний размер потока

$\mathbb{E}[S_n]$  не зависит от конкретной сети, а является универсальной величиной и определяется эмпирически, в результате исследования свойств глобальной сети.

Постоянная прибытия потоков  $\lambda$  (величина обратная к среднему значению промежутка времени между двумя последовательными интервалами) описывает поведение пользователей сети и не зависит от состояния сети или ее загрузки. Суммарное число потоков (запросов от пользователей), которые прибывают на данный участок сети, остается линейно зависящим от времени наблюдения, даже если сеть начинает испытывать проблемы и не может удовлетворить все запросы пользователей.

Для того чтобы описать реальное состояние сети с произвольной загрузкой необходимо использовать закон Литтла [98]:

$$N = \lambda \mathbb{E}[D_n] \quad (3.2.5)$$

где  $\mathbb{E}[D_n]$  среднее значение длительности потока, а  $N$  число активных потоков.

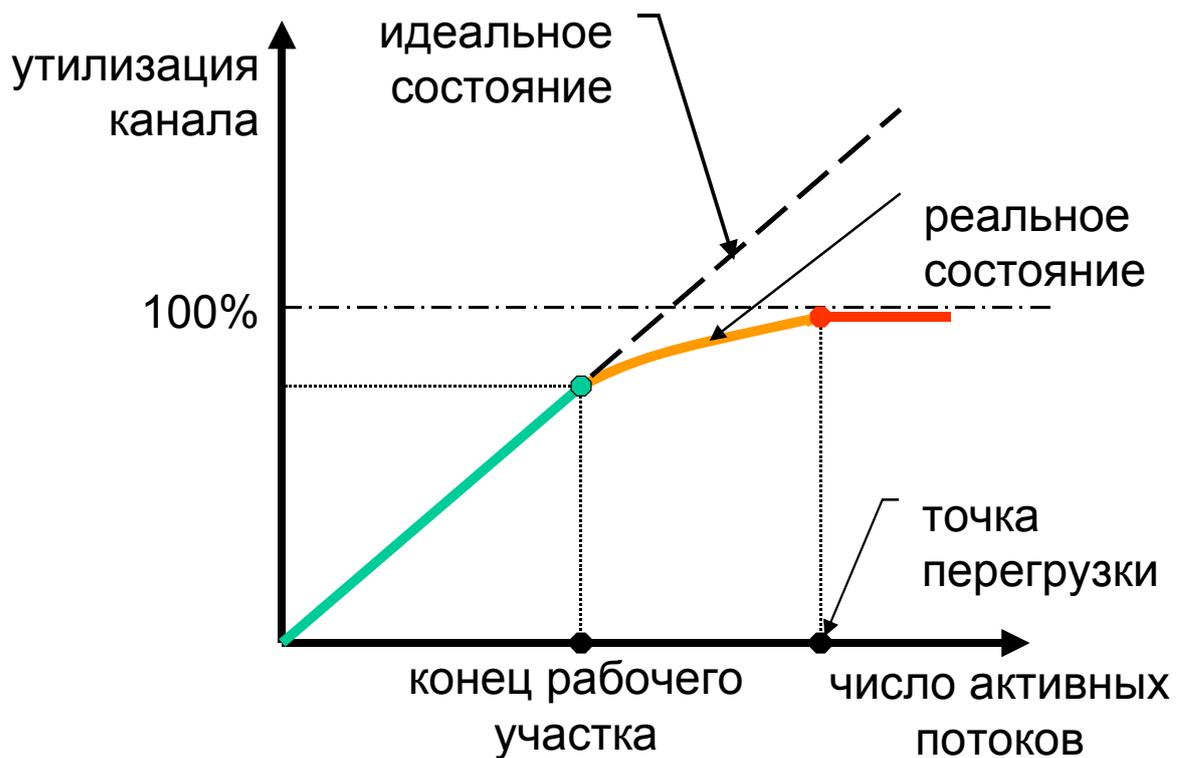
Последняя формула описывает состояние сети более аккуратно, чем уравнение (3.2.3), так как время обслуживания потока (его длительность) зависит от нагрузки сети. При больших загрузках это время увеличивается.

### 3.3. ГРАДАЦИЯ СОСТОЯНИЙ НА УРОВНЕ ПОТОКОВ

Анализируя уравнения (3.2.3) и (3.2.5) можно сравнить поведение идеальной и реальной сетей. Предполагая, что пропускная способность канала неограниченна, при увеличении числа запросов от пользователей получим одновременный рост, как загрузки канала, так и числа активных потоков в нем. Эта зависимость будет описываться прямой на Графике 3.3.1 с числом активных потоков и утилизацией канала в виде осей [3].

В реальных сетях пропускная способность канала ограничена, причем не только технологическими особенностями канала, но и топологией сети, смотри Рис. 3.1.1.

**График 3.3.1. Состояния сети в зависимости от нагрузки**



Дальнейшее увеличение числа запросов от пользователей приводит к тому, что при превышении некоторого предела, совпадающего с областью действия уравнения (3.2.3), прямо пропорциональная зависимость загрузки канала от числа активных потоков нарушается. Среднее время обслуживания потока растет и, соответственно, растет число активных потоков в исследуемом участке сети, средняя скорость одного потока падает. Поэтому точка, соответствующая реальному состоянию сети будет лежать ниже прямой, описывающей идеальное состояние сети.

Участок прямой, соответствующий идеальному состоянию сети, должен определять рабочий участок сети. При эксплуатации сети выход за пределы рабочего участка крайне нежелателен, так как он сопровождается

ухудшением качества связи. Конец рабочего участка определяется точкой перегиба, которая может быть найдена экспериментально. Положение этой точки зависит от множества факторов, таких как протокол транспортного уровня (ATM, SDH, Ethernet и т.д.), топология сети, размер буфера маршрутизатора и т.д.

Следует также упомянуть и о точке перегрузки сети, которая совпадает с концом области определения для уравнения (3.2.5). После этой точки в сети начинаются необратимые явления, приводящие к значительным потерям пакетов – свыше 5%.

То есть для тестирования сети предлагается строить зависимость загрузки канала от числа активных потоков в нем. Предполагаемая кривая изображена на Рис. 3.3.1 и на ней можно выделить три участка, соответствующие качественно различным состояниям сети.

Первая часть кривой, выделенная зеленым цветом, соответствует рабочему участку сети и характеризуется минимальными потерями IP-пакетов ( $p < 0.5\%$ ). Предполагается, что это прямая линия, которая заканчивается точкой перегиба. Найти эту точку можно экспериментальным путем, таким образом, определив длину рабочего участка.

Вторая часть кривой, выделенная желтым цветом, соответствует перегруженной сети и характеризуется более существенными потерями пакетов ( $0.5\% < p < 5\%$ ), что приводит к снижению эффективного размера передаваемого сегмента TCP/IP. При этом общее число потоков во внешнем канале (каналах) изучаемой сети, бывших активными за время сбора статистики, будет пропорционально времени наблюдения, поскольку пользователи не меняют своего поведения в зависимости от загрузки сети. Хотя совершенно ясно, что потоки имеют конечную длительность (порядка 5-10 с), и в какой-то удаленный момент времени большая их часть перестанет быть активными. Такое состояние сети характеризуется увеличением средней длительности потока (по сравнению с

длительностью потоков на рабочем участке) и, соответственно, к большему числу активных потоков, отнесенных к удельной нагрузке в исследуемый момент времени.

Красный участок кривой соответствует полностью неработоспособной сети со значительной потерей пакетов ( $p > 5\%$ ).

В заключение этого параграфа хотелось бы оценить значение доверительного интервала для рабочего участка кривой. Поскольку суммарная нагрузка исследуемого канала есть результат мультиплексирования большого количества потоков, независимых друг от друга, то согласно классической предельной теореме [7, 98] распределение суммарной нагрузки стремится к нормальному (Гауссову) распределению. Как уже упоминалось в предыдущем параграфе, вариация величины суммарной нагрузки  $V_R$  зависит от двух величин: постоянной прибытия потоков  $\lambda$  и среднего значения отношения квадрата размера потока к его длительности  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$  (см. уравнение (3.2.4)).

Это означает, что величина суммарного трафика лежит в следующих пределах [120]

$$\mathbb{E}[R(t)] - A(\epsilon)\sqrt{V_R} \leq R(t) \leq \mathbb{E}[R(t)] + A(\epsilon)\sqrt{V_R} \quad (3.3.1)$$

где  $A(\epsilon)$  нормальная квантильная функция. Уравнение (3.3.1) говорит о том, что величина суммарной нагрузки  $R(t)$  будет находиться вне указанных пределов только в  $100 \times \epsilon\%$  от общего времени наблюдения.

Учитывая, что

$$V_R = \lambda \mathbb{E}[S_n] * \mathbb{E}[S_n / D_n] \quad (3.3.2)$$

где  $\mathbb{E}[S_n / D_n]$  средняя скорость потока равная

$$\mathbb{E}[S_n / D_n] = \mathbb{E}[R(t)] / N \quad (3.3.3)$$

Тогда доверительный интервал для суммарной нагрузки может быть выражен следующим образом [55]

$$R(t) = k(N \pm A(\epsilon)\sqrt{N}) \quad (3.3.4)$$

где величины  $k$ ,  $A(\epsilon)$  могут быть найдены из анализа экспериментальных данных для рабочего участка кривой с Рис. 3.3.1.

### 3.4. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА КАК ОСНОВНОЙ ПАРАМЕТР ДЛЯ СРАВНЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ

В представленной в настоящей главе модели переменные  $\lambda$  и  $E[S_n]$  никак не связаны с текущим состоянием сети. Средний размер потока  $E[S_n]$  не зависит от конкретной сети, а является универсальной величиной, характеризующей свойства глобальной сети. Постоянная прибытия потоков  $\lambda$  (величина обратная к среднему значению промежутка времени между двумя последовательными интервалами) описывает поведение пользователей сети и не зависит от состояния сети или ее загрузки. Суммарное число потоков (запросов от пользователей), которые прибывают на данный участок сети, остается линейно зависящим от времени наблюдения, даже если в сети начинаются проблемы, и она не может удовлетворить все запросы пользователей.

Графическое описание состояния различных сетей, как это можно видеть на Рис. 3.3.1, будет отличаться углом наклона и длиной рабочего участка. Следовательно, эти параметры и можно использовать для индивидуального описания исследуемой сети. Так как эксплуатация сети всегда рекомендуется только в пределах рабочего участка, то с точки зрения качества предоставляемых услуг, состояние сети, соответствующее рабочему участку, может быть описано с помощью угла наклона прямой с Рис. 3.3.1. Этот угол наклона представляет собой усредненную скорость одного потока, измеряемую в Кбит/с. Данный параметр легко рассчитать,

например, по данным Cisco NetFlow [74]. В результате дальнейших исследований можно провести четкое соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и средней скоростью потока.

Для построения наиболее полной картины глобальной сети, ее мониторинга, поиска узких мест, а также разработки стандартов, описывающих новые приложения, и создания условий для внедрения новых протоколов и т.д., построена современная измерительная инфраструктура. В рамках гранта РФФИ 06-07-89074-а «Создание измерительной инфраструктуры для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети» в 2006 году развернуты две стационарные измерительные точки, на базе Института Органической Химии РАН, сеть FREEnet, и на базе Самарской региональной сети для науки и образования в Самарском государственном аэрокосмическом университете.

Анализ данных, собранных на сетях Самарской региональной сети для науки и образования, российской федеральной научно-образовательной сети RBNet, ирландской национальной научно-образовательной сети HEANet, сетей частных операторов связи (СамараТелеком) и т.д. позволяет проанализировать данные о зависимости качества соединений от средней скорости потока.

Результаты анализа можно свести в Таблицу 3.4.1.

К сожалению, в российском научно-образовательном сегменте пока нет возможности оперативно получать данные о средней скорости потока с региональных узлов из-за того, что соответствующее программное обеспечение не установлено. Но есть надежда, что с переходом в 2007 году на новое оборудование, эти данные будут доступны.

Ситуация в региональных научно-образовательных сетях по этому основному показателю не улучшается с 2002 года, когда был осуществлен

переход на каналы иерархии STM1. Так, средняя скорость потока в Самарской региональной сети для науки и образования была в то время чуть больше 7 Кбит/с, в то время как в коммерческих сетях она не превышала 1,5 Кбит/с. В настоящее время ситуация коренным образом поменялась. Средняя скорость потока в Самарской научно-образовательной сети понизилась до 3-4 Кбит/с, в то время как в коммерческих сетях она возросла до 10 Кбит/с. Даже для московских научно-образовательных сетей, например FREENet, в начале 2007 года этот параметр не превышал 6 Кбит/с.

**Таблица 3.4.1. Качество сети и возможность внедрения новых интернет сервисов**

№ пп	Средняя скорость потока в Кбит/с	Возможность голосовой связи	Возможность низкоскоростных видео конференций	Возможность высокоскоростных видеоконференций от 384 Кбит/с	Возможность грид вычислений
1	1	Нет	Нет	Нет	Нет
2	2	Низкого качества	Нет	Нет	Нет
3	4	Приемлемое качество	Низкого качества на скоростях до 30 Кбит/с	Нет	Нет
4	7	Отличное качество	Приемлемое качество	Низкое качество	Нет
5	15	Отличное качество	Хорошее качество (Q_MOS> 3,9)	Хорошее качество (Q_MOS> 4,0)	Нет
6	> 25	Отличное качество	Хорошее качество (Q_MOS> 3,9)	Отличное качество (Q_MOS> 4,0)	Пользовательский уровень

Средняя скорость потока описывает интернет подключение исследуемой сети в целом, однако при сеансах связи с удаленными точками дополнительное влияние оказывает структура глобальной сети. Даже если средняя скорость потока будет выше указанной в Таблице 3.4.1 для того или иного высокоскоростного сервиса, то это только необходимое условие для проведения сеанса связи. Достаточным же будет являться то, что

требуемая доступная полоса пропускания превысила некоторый предел, который для сеанса видео связи измеряется при помощи утилиты iperf [71].

Особое внимание было уделено поиску соответствий между данными, описывающими качество сети в целом (усредненная скорость потока) и качеством видеоконференций. В рамках создания измерительной технологии для внедрения видеосвязи и проведения включений прямого эфира в телепередачи исследовалось соответствие данных, полученных при помощи специализированных утилит, и реально возможной скоростью видео потоков.

Разработанная в содружестве с ведущими специалистами университета Огайо, США и ирландской научно-образовательной сети HEAnet аналитическая модель VVoIP приложений [28, 119] позволила сформулировать методику подбора параметров вещания (скорости потока, типа компрессии, частоты кадров, размера картинки и т.д.). Ключевой момент этой методики состоит в замере максимальной полосы пропускания потоков при помощи утилиты Iperf [71]. Предельная скорость потока видео данных для оборудования любых производителей не должна превышать 90% от полученной максимальной полосы (см. Таблицу 3.4.2).

Поэтому следующий блок измерений, проведенный в 2006 году, был посвящен анализу доступной полосы для пропуска видео потоков через существующую научно-образовательную инфраструктуру. Среди точек, для которых проводились измерения, были:

- операционный центр сети RNet (РосНИИРОС, Москва)
- операционный центр сети FREEnet (ИОХ РАН, Москва)
- СГАУ, Самара
- Ростовский государственный университет, Ростов на Дону
- ФТИНТ НАН Украины, Харьков
- OARNet, университет Огайо, США

Данные сведены в Таблицу 3.4.2

**Таблица 3.4.2. Доступная полоса для видео трафика**

№ пп	Участок	Доступная полоса			
		Прямое направление		Обратное направление	
		День	Ночь	День	Ночь
1	Самара – Москва (ИОХ РАН)	~ 300 Кбит/с	1-2 Мбит/с	60 Кбит/с	400 Кбит/с
2	Самара-Ростов	20Кбит/с	450 Кбит/с	20 Кбит/с	450 Кбит/с
3	Москва – Огайо (США)	> 600 Кбит/с	> 2 Мбит/с	> 1 Мбит/с	>2 Мбит/с
4	Самара - Харьков	20Кбит/с	200 Кбит/с	20 Кбит/с	200 Кбит/с

Полученные данные показали, что на базе даже региональных центров российских научно-образовательных сетей в дневное время суток невозможно проводить видеоконференции приемлемого качества (с MOS > 3,5) без специальной настройки сети.

### 3.5. МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ

Для того чтобы проверить высказанные предположения о структуре трафика и его свойствах были проведены эксперименты на маршрутизаторах (border gateway router), обслуживающих внешние каналы крупных сетей – ЗАО «СамараТелеком» в Самаре и ирландской научно-образовательной сети HEAnet. Каждый из исследуемых маршрутизаторов обслуживал несколько каналов – внешних и внутренних. Скорости данных подключений составляли 622 и 155 Mbps для HEAnet и 8 Mbps для СамараТелеком. Загрузка каналов варьировалась от 5% до 60%.

Данные о загрузке сети и количестве активных потоков были получены при помощи технологии Cisco NetFlow [74]. В Самаре измерения проводились на маршрутизаторе Cisco 7206 с настроенной поддержкой NetFlow. Следует отметить, что поддержка NetFlow должна быть включена на всех задействуемых интерфейсах, иначе результаты измерений будут некорректными. Так, наша первая попытка провести эксперимент на

Ирландской научно-образовательной сети HeaNet оказалась неудачной из-за неполной настройки технологии NetFlow на маршрутизаторах.

В СамараТелеком на основе NetFlow построена биллинговая система, поэтому получение данных ограничено текущими настройками программного обеспечения. Научно-образовательные сети не требуют очень подробной детализации трафика, связанной с тарифными планами и оплатой, в них имеется большая свобода в выборе настроек. Но в то же время обслуживающий персонал не обладает достаточными навыками по детализации трафика, а закупленное программное обеспечение часто не позволяет делать подобные точные измерения.

Как правило, сеть использует один или несколько внешних каналов, при этом внутренние присоединения остаются гораздо менее загруженными. Поэтому можно строить зависимость числа активных потоков на граничном маршрутизаторе от общей загрузки внешних каналов.

Это достигается с помощью следующих команд:

`>sh ip cache flow` -- дает информацию о количестве активных и неактивных потоков, об их параметрах в конкретный момент времени;

`>sh int` [названия внешних интерфейсов] - выдает информацию о текущей загрузке канала.

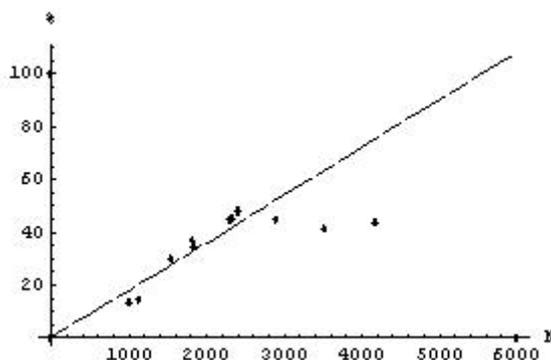
Данные, полученные в результате выполнения этих команд, содержат все необходимые значения для построения графика, аналогичного изображенному на Рис. 3.2.1. Их следует снимать круглосуточно, с интервалом в 30 (5) мин в течение недели, чтобы выявить поведение сети при различной загрузке. Достаточно легко написать соответствующий скрипт, который будет собирать данные с маршрутизатора на сервер управления.

Для GSR маршрутизатора с гигабитной матрицей коммутации снятие данных о количестве активных потоков достигается с помощью следующих команд

- *enable*
- *attach* [номер слота]
- *show ip cache flow*

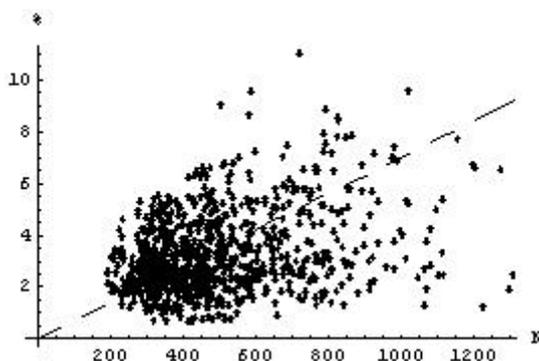
Ниже приведены данные о зависимости нагрузки от числа активных потоков для СамараТелеком. Эти данные снимались вручную в течении нескольких дней.

**Рисунок 3.5.1. Зависимость загрузки внешнего канала от числа активных потоков (СамараТелеком)**



Следующие данные относятся к внешнему каналу HEAnet (155 Mbps). Эти сведения собирались в течение трех суток, запросы проводились в автоматическом режиме каждые 5 минут.

**Рисунок 3.5.2. Зависимость загрузки внешнего канала от числа активных потоков (HEAnet)**



### 3.6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Как уже упоминалось выше, пробное тестирование проводилось на граничном маршрутизаторе ЗАО "СамараТелеком". В качестве внешних

каналов использовались четыре потока Е1, ведущих к различным магистральным Интернет-провайдерам.

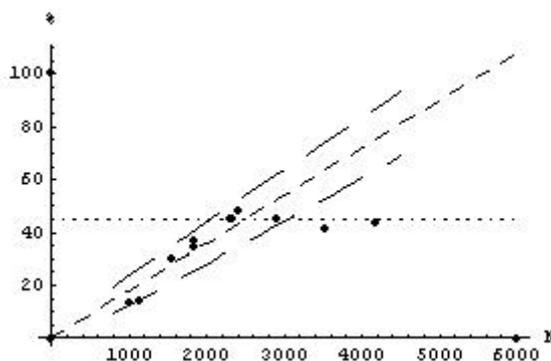
Нами было получено несколько десятков значений для различной загрузки сети, и результат этих измерений представлен на графике с Рис. 3.4.1, где на оси абсцисс отложено количество активных потоков, а на оси ординат - загрузка канала в процентах от максимальной величины.

Отдельные точки на графике соответствуют реальным состояниям сети, а пунктирная прямая из тире различных длин описывает ее идеальное состояние. Угол наклона этой прямой представляет усредненное отношение  $U / N$ , полученное для тех состояний, когда загрузка сети не превышала 40%.

Для того чтобы найти рабочий участок и доверительный интервал для состояний сети был построен следующий график с Рис. 3.6.1 с нанесенными на него дополнительными линиями.

Сверху рабочий участок ограничен прямой в виде отдельных точек, которая характеризует поведение сети при больших нагрузках. Пересечение двух прямых позволяет найти длину рабочего участка (0%-45%). Когда число потоков превышает 2500, сеть начинает испытывать перегрузки, приводящие к замедлению ее работы и ухудшению качества связи. Причем с ростом запросов общая загрузка канала практически не растет, а качество связи значительно снижается.

**Рисунок 3.6.1. Доверительный интервал и рабочий участок сети СамарыТелеком**



Отметим, что на исследуемой сети практически отсутствует переходный участок (см. рис. 3.2.1), а в часы наибольшей нагрузки сети ее реальная пропускная способность сети более чем вдвое ниже объявленной.

В данном случае правило 50% для среднесуточной утилизации не работает. Даже предельная (а не среднесуточная) нагрузка в 45% приводит к сбоям в сети. То есть приведенный в данной работе тест позволяет судить о состоянии сети более тщательно, чем принятые до сих пор правила. Такая ситуация объяснялась тем, что из-за дороговизны каналов первичной транспортной сети и нежелания магистральных провайдеров предоставлять возможность передачи голоса и видео через публичные каналы, средняя утилизация магистральных каналов превышала 80%, а их пропускная способность была, по меньшей мере, втрое меньше пропускной способности подключенных к ним операторов. Предложенный тест показал наличие недостатков у вышестоящих поставщиков услуг интернет без доступа к их инфраструктуре связи.

Выделение на графике рабочего участка сети позволяет оценить среднюю скорость потока, которая для сети СамараТелеком оказалась равной 1400 bps. Такое значение неприемлемо для большинства интернет приложений за исключением HTTP и FTP соединений. IP сеть с такими характеристиками практически не дает возможности для передачи голоса и видео. Так голосовые кодеки требуют полосы пропускания в пределах 10-18 Kbps для телефонной связи и до 144 Kbps для музыкального вещания.

Значение нормальной квантильной функции может быть оценено для графика с Рис. 3.6.1 как

$$A_{ST}(0.05) = 10 \quad (3.6.1)$$

Это означает, что только 5% результатов будет лежать вне интервала

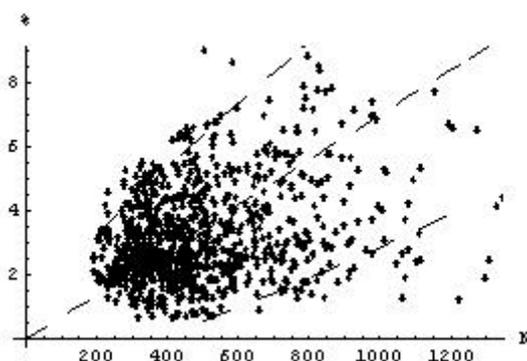
$$R(t) = 1400(N \pm 10\sqrt{N}) \text{ [bps]} \quad (3.6.2)$$

Последнее уравнение дает важный критерий для поиска проблемных состояний сети: если в результате двух последовательных измерений (через 5(30) минут) состояния сети будут лежать вне доверительного интервала, то сеть испытывает те или иные трудности.

Сравним теперь данные о сети СамараТелеком с результатами, полученными в сети HEAnet:

Средняя скорость потока в сети HEAnet равняется 15 Kbps, что на порядок больше, чем у СамараТелеком. и имеется возможность передавать голос, а на отдельных направлениях и качественное видеоизображение. Следует отметить, что по нашим наблюдениям среднее значение скорости потока в Самарской региональной сети науки и образования в 2003 году было равным 7-8 Kbps. Этот факт объясняется тем, что в рамках федеральной межведомственной программы по развитию сети для науки и образования RBNet была одной из первых магистральных сетей, перешедших на транспортные каналы верхнего уровня иерархии PDH (45 Mbps).

**Рисунок 3.6.2. Доверительный интервал сети HEAnet**



Значение нормальной квантильной функции может быть оценено для графика с Рис. 3.6.2 как

$$A_{HN}(0.05) = 20 \quad (3.6.3)$$

Это означает, что только 5% результатов будет лежать вне интервала

$$R(t) = 15000(N \pm 20\sqrt{N}) \text{ [bps]} \quad (3.6.4)$$

В настоящей главе описана методика, позволяющая оценивать качество Интернет-каналов на основе потоковых технологий и своевременно увеличивать их пропускную способность. Сейчас мы работаем над созданием утилит для имеющегося программного обеспечения, которые позволят автоматически строить кривую зависимости загрузки канала от числа активных потоков и вычислять длину рабочего участка.

В дальнейшем планируется провести исследования по оценке параметров потока и, прежде всего, скорости передачи данных. Предполагается вывести аналитическую зависимость скорости потока (времени передачи файла определенного размера между двумя удаленными IP-узлами) от времени доставки пакета и процента их потерь. Другими словами, мы хотим предложить методику теоретической оценки качества соединения по данным команды ping и ее аналога для TCP-пакетов (tcp ping).

### ГЛАВА 3. ТЕСТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ

У пользователей Интернет, равно как и у персонала компаний, предоставляющих услуги Интернет, часто возникает вопрос, как оценить качество связи и найти в сети «узкие» места? К сожалению, в настоящее время нет единого подхода и общепринятых тестов для решения данной задачи. При этом в России, особенно в провинции, пользователи, подключенные к Интернет, зачастую не имеют ни малейшего представления об инфраструктуре вышестоящей сети, ее пропускной способности и качестве предоставляемых услуг.

В настоящей главе основное внимание уделено разработке методологии определения качества соединений в глобальной сети, для того чтобы внедрить последнее поколение научно-образовательных предложений в региональных сетях для науки и образования.

Эти приложения предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности. В рамках данной работы проведены экспериментальные и теоретические исследования для определения требований, предъявляемых к сети для пропуска высокоскоростного трафика (аудио, видео и грид), построена измерительная инфраструктура для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети.

К сожалению, в настоящее время нет единого подхода и общепринятых тестов для определения качества сетевых соединений. Настоящая глава посвящена разработке таких критериев на базе модели трафика, основанного на понятии потоков (flow) [117]. Под потоком понимается обобщенное понятие, соответствующее любому интернет соединению (TCP, UDP, ICMP) с рядом фиксированных параметров, основными из которых являются IP-адреса отправителя и получателя, соответствующие номера портов и номер протокола. Исследовать поведение сети на основе

поточковых технологий значительно удобнее, такое исследование требует меньших затрат.

Используя результаты теории массового обслуживания, получены два выражения, описывающие трафик опорной сети (backbone), которые имеют разные области применения [120]. Продемонстрировано, что кривая показывающая зависимость утилизации Интернет соединения от числа активных потоков в нем позволяет описать различные состояния сети [3]. Предлагается методика построения такой кривой на основе данных протокола NetFlow, полученных с маршрутизаторов Cisco. После построения данной кривой на ней легко выделить рабочий участок и точку перегрузки, что позволяет определить момент, когда данный канал должен быть расширен.

### **3.1. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ**

Моделирование трафика на пакетном уровне - задача довольно сложная, так как канальный трафик есть результат суммирования трафика огромного числа отдельных соединений. Недавно появился новый подход, основанный на представлении трафика в виде совокупности потоков (flow). Под потоком понимается обобщенное понятие, соответствующее любому интернет соединению (TCP, UDP, ICMP) с рядом фиксированных параметров, основными из которых являются IP-адреса отправителя и получателя, соответствующие номера портов и номер протокола. Исследовать поведение сети на основе потоковых технологий значительно удобнее, такое исследование требует меньших затрат. В этой главе хотелось бы представить простой тест, позволяющий судить о качестве сети и ее реальной пропускной способности.

До недавнего времени операторы коллекционировали статистические данные на уровне пакетов. Обработка таких данных достаточно сложна, в первую очередь из-за их большого объема, и требует

высокопроизводительного оборудования, сложного программного обеспечения и квалифицированных программистов.

Обычно для оценки качества работы сети используют следующие характеристики:

- уровень загрузки канала (utilization level);
- время доставки пакета (one way delay), которое в простейшем случае может быть оценено по данным команды ping
- вариация в задержке пакета или джиттер
- количество потерянных пакетов (packet loss rate).

Если последние три характеристики служат в основном для оценки качества соединения между двумя удаленными точками (end-to-end), то уровень загрузки канала применяется для мониторинга канала между двумя соседними маршрутизаторами (hop).

В этой главе будет сделана попытка найти наиболее подходящий параметр для сравнения качества соединений. В результате исследований проведено четкое соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и значениями данного параметра.

Крупные зарубежные компании руководствуются своими собственными техническими условиями для оценки пиковых нагрузок магистральных соединений, по достижению которых требуется расширение каналов. Эти пиковые значения варьируются в пределах 35-60%. Так, международный телекоммуникационный гигант Спринт (Sprint) считает невозможным эксплуатацию каналов с пиковой загрузкой выше 50% [84]. Подобные вопросы постоянно обсуждаются на конференциях, таких, как ACM SIGCOMM, IEEE Infocom и др., однако накопленные знания еще не достигли того уровня, когда появляется возможность выработать единый стандарт и соответствующее программное обеспечение для измерений.

Основное внимание в этой главе будет сосредоточено на мониторинге каналов при помощи потоковых технологии и определении момента, когда

требуется расширение канала. Предыдущие работы: Чек Фралеин и др. [84] сталкивались с подобными проблемами, когда они пытались понизить время доставки пакетов. В докладе на Инфоком 2003 Дина Пападжианнаки и др. [106] описали методику, базирующуюся на SNMP статистике, которая позволяет предсказать где и когда потребуется расширение пропускной способности для магистральных каналов.

Механизм сбора информации о потоках должен рассматриваться как пассивный измерительный механизм. Собранная подобным образом информация может быть использована для многочисленных целей:

- понимание поведения исследуемых сетей
- планирование развития сети
- определение производительности сети
- проверка качества сетевых сервисов
- исследование поведения отдельных пользователей

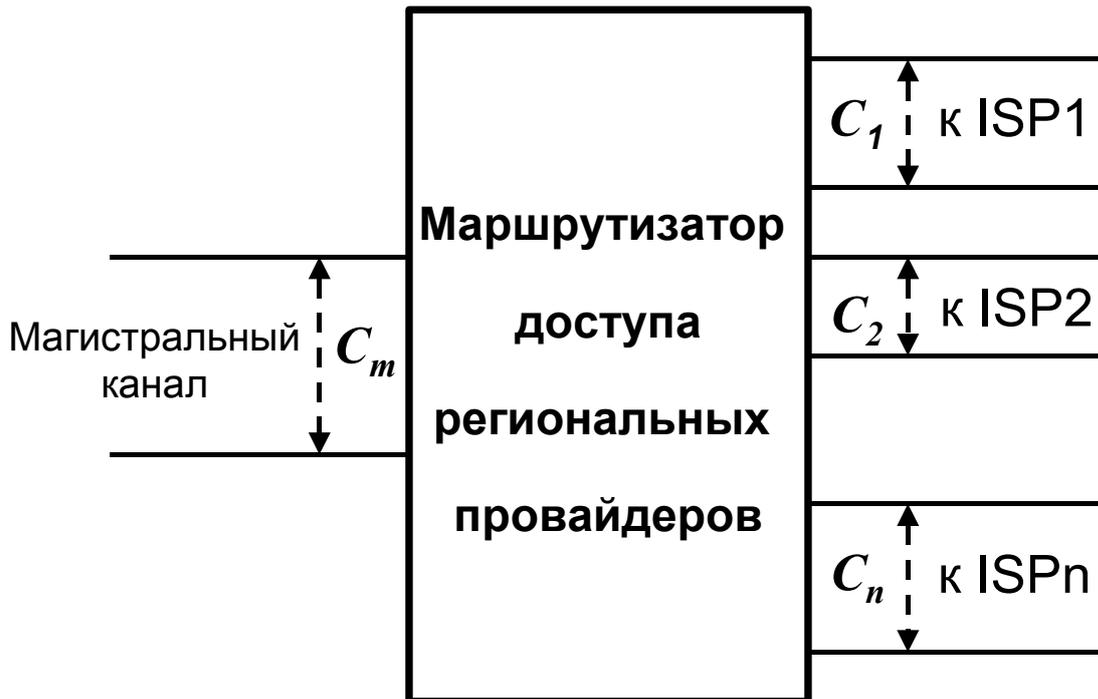
К сожалению, пока не сформировалось единое мнение по оценке качества связи, получаемой на магистральной сети и определению узких мест. Правило 50-ти процентной предельной загрузки сети также не всегда работает. Здесь хотелось бы привести подобный пример, когда формально это правило выполняется и только анализ информации на уровне потоков позволяет говорить о перегрузке сети.

В России и других странах, где магистральные сети покрывают огромные расстояния в сложных природных условиях, стоимость первичных каналов связи велика, а количество общенациональных операторов связи ограничено двумя-тремя. И только эти операторы предлагают региональным операторам подключение к национальной опорной сети. Для достижения наибольшей отдачи от магистрального канала емкостью  $C_m$  к нему присоединяется такое количество региональных провайдеров

(ISP – Internet Service Provider), что суммарная емкость их каналов  $C_i$  становится значительно большей, чем  $C_m$  :

$$\sum_{i=1}^n C_i > C_m \quad (3.1.1)$$

**Рисунок 3.1.1. Схема присоединения к магистральному каналу**



В этих условиях правило 50% формально выполняется для каналов  $C_i$ , ведущих к региональным сервис-провайдерам, однако качество связи предельно низкое, особенно для приложений реального времени, основанных на UDP протоколе, таких как передача голоса поверх IP протокола (VoIP), и тем более, для передачи видео. При этом возможность проконтролировать загрузку внешнего канала для персонала региональных операторов, а также получить сведения о схеме подключения, величине утилизации магистрального канала и т.п. , практически отсутствует. Предложенная в настоящей главе технология позволяет решить эти проблемы.

Чади Баракат и др. [62] предложили модель, которая позволяет на основе информации о потоках построить модель суммарного трафика на магистральном участке. В процессе моделирования предполагалось, что наблюдаемый трафик представляет собой суперпозицию большого количества потоков, которые прибывают случайным образом и остаются активными в течении случайного периода времени.

В настоящей работе представлен метод, согласно которому, чтобы проанализировать качество участка магистрали или канала к провайдеру, мы должны построить графическую зависимость между загрузкой канала и числом активных потоков в нем. Соответствующий механизм, основанный на пассивных измерениях, описан в RFC 2722 [110] (Traffic Flow Measurement: Architecture). В настоящее время имеется несколько программных реализаций этой архитектуры, среди которых следует упомянуть технологию Cisco NetFlow, потоковые пакеты RIPE (Reseaux IP Europeens) и NLARN (The National Laboratory for Applied Network Research). RIPE - это европейское подразделение организации IANA (<http://www.iana.org>), являющееся региональным сетевым координационным центром и интернет-регистратором. Задачи RIPE - выделение автономных систем и адресных блоков. Что же касается Национальной лаборатории прикладного сетевого исследования США (NLARN), то она занимается анализом глобальных сетей, в том числе вопросами, связанными с загрузкой каналов Интернет.

Измерения, о которых рассказано далее, проведены на сети самарской телекоммуникационной компании ЗАО "Самара Телеком", базирующейся на маршрутизаторах Cisco с настроенной поддержкой технологии NetFlow (доступна в версиях IOS начиная с 12.0(2)) и в сетях Ирландской национальной сети для науки и образования HEAnet ([www.heanet.ie](http://www.heanet.ie)).

СамараТелеком это крупная частная телекоммуникационная компания, работающая в Среднем Поволжье. Начиная с 1995 года, ею были введены в

строй узловые телефонные станции в Самаре и Тольятти, там же построены SDH кольца уровня STM-16 (2.5 Gbps); сданы мощные узлы по подключению конечных пользователей по технологиям Ethernet, xDSL, dial-up. Общая пропускная способность каналов, ведущих в Интернет, составляла на момент исследований 8 Mbps. Утилизация внешних каналов варьировалась от 5% до 60% в наиболее загруженный период. Одна из целей данного исследования состояла в том, чтобы оценить качество услуг, предоставляемых крупнейшими российскими операторами: Ростелекомом, Транстелекомом, Глобал Один и ГолденТелекомом.

HEAnet – оператор ирландской национальной сети для науки и образования, который использует несколько внешних каналов. На момент эксперимента это были подключения на скорости 622 Mbps к общеевропейской научно-образовательной магистрали GEANT и 155 Mbps канал к американским сетям. Мы использовали также результаты тестирований на сети GEANT и результаты работы группы по сетям новых поколений (TF-NGN) TERENA [80, 99].

### **3.2. ТЕСТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ИНТЕРНЕТ**

Сначала отметим, что математическая модель Интернет-трафика на уровне потоков базируется на теории стохастических сетей. Основы этой модели были представлены на конференции ACM SIGCOMM в августе 2001 года Беном Фреди и др. [65] (доклад Statistical Bandwidth Sharing: A Study of Congestion at Flow Level). На основании представленной модели Чади Барракат и др. исследовали, в частности, трафик магистральных каналов сети Sprint OC-12 (622 Мбит/с) и усовершенствовали модель. Предложенная модель трафика для не перегруженных участков магистральной сети достаточно проста, и ее можно использовать в управлении сетью.

Модель опирается на понятие Пуассоновского составного шума (shot noise) [68,79]. С помощью только трех параметров ( $\lambda$  - параметр прибытия

потока,  $\mathbb{E}[S_n]$  - средний размер потока,  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$  среднее значение отношения квадрата размера потока к его длительности) модель предсказывает поведение средней величины загрузки канала и ее вариации за короткие промежутки времени. Данная модель опирается на следующие основные предпосылки:

- Появление новых потоков на исследуемом участке магистральной сети описывается однородным Пуассоновским процессом. Измерения, проведенные в работе Бараката и др. говорят о том, что  $\lambda$  остается постоянной в течении как минимум 30-ти минутного интервала. В общем случае, все соотношения могут воспроизводиться, если процесс прибытия потоков описывается более общими типами процессов, такими как Марковский процесс [60] или неоднородный процесс Пуассона.
- Обозначаем через  $T_n$  как время прибытия  $n$ -го потока,  $S_n$  его размер в байтах и  $D_n$  его длительность в секундах. Последовательности  $\{S_n\}$  и  $\{D_n\}$  независимы и идентично распределены.

Точный тип распределения зависит от типов рассматриваемых участков сети, однако представляется разумным, что его форма является типичным распределением Парето [78, 107] с тяжелым хвостом (heavy tailed):

$$\Pr[size \leq x] = 1 - \frac{k}{x^\beta}, \text{ для } x \geq k \quad (3.2.1)$$

с  $1 \leq \beta \leq 2$ , такое распределение имеет конечное среднее и бесконечно большую вариацию.

- Переменная, описывающая скорость потока (shot)  $X_n(\cdot)$ . Поток считается активным в период времени  $T_n \leq t \leq T_n + D_n$ . Определяем

$X_n(t - T_n)$ , как скорость  $n$ -го потока в бит/с, причем  $X_n$  равно нулю если  $t < T_n$  и  $t > T_n$ .

Обозначаем  $R(t)$  как общую скорость передачи данных в исследуемом участке сети в период времени  $t$ . Она определяется суммированием скоростей активных потоков:

$$R(t) = \sum_{n \in Z} X_n(t - T_n) \quad (3.2.2)$$

Процесс из уравнения (4.2.2) позволяет найти число активных потоков в момент времени  $t$  в очереди  $M/G/\infty$ , если  $X_n(t - T_n) = 1$  и  $t \in [T_n, T_n + D_n]$ .

Модель, предложенная Баракатом и др., позволяет определить среднее значение скорости передачи данных в исследуемом участке сети и ее вариации:

- Среднее значение скорости определяется двумя параметрами  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n]$ :

$$\mathbb{E}[R(t)] = \lambda \mathbb{E}[S_n] \quad (3.2.3)$$

- Вариация скорости  $V_R$  также задается двумя параметрами  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$ :

$$V_R = \lambda \mathbb{E}[S_n^2 / D_n] \quad (3.2.4)$$

Следует отметить, что уравнение (3.2.3) справедливо только для идеального случая, когда исследуемый участок сети имеет неограниченную пропускную способность. Это уравнение можно применять только к слабо загруженным участкам. Основным недостатком этого уравнения заключается в отсутствии четко определенной области применения, что объясняется тем фактом, что переменные  $\lambda$  и  $\mathbb{E}[S_n]$  никак не связаны с текущим состоянием сети. Средний размер потока

$\mathbb{E}[S_n]$  не зависит от конкретной сети, а является универсальной величиной и определяется эмпирически, в результате исследования свойств глобальной сети.

Постоянная прибытия потоков  $\lambda$  (величина обратная к среднему значению промежутка времени между двумя последовательными интервалами) описывает поведение пользователей сети и не зависит от состояния сети или ее загрузки. Суммарное число потоков (запросов от пользователей), которые прибывают на данный участок сети, остается линейно зависящим от времени наблюдения, даже если сеть начинает испытывать проблемы и не может удовлетворить все запросы пользователей.

Для того чтобы описать реальное состояние сети с произвольной загрузкой необходимо использовать закон Литтла [98]:

$$N = \lambda \mathbb{E}[D_n] \quad (3.2.5)$$

где  $\mathbb{E}[D_n]$  среднее значение длительности потока, а  $N$  число активных потоков.

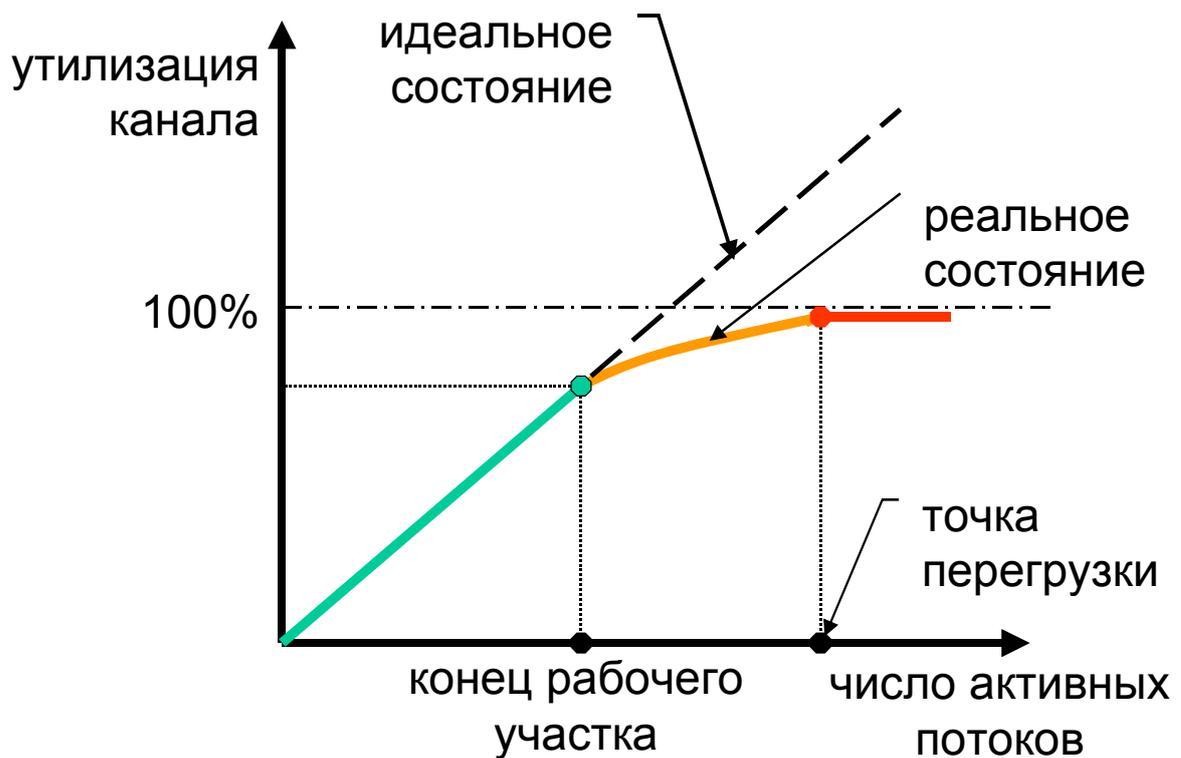
Последняя формула описывает состояние сети более аккуратно, чем уравнение (3.2.3), так как время обслуживания потока (его длительность) зависит от нагрузки сети. При больших загрузках это время увеличивается.

### 3.3. ГРАДАЦИЯ СОСТОЯНИЙ НА УРОВНЕ ПОТОКОВ

Анализируя уравнения (3.2.3) и (3.2.5) можно сравнить поведение идеальной и реальной сетей. Предполагая, что пропускная способность канала неограниченна, при увеличении числа запросов от пользователей получим одновременный рост, как загрузки канала, так и числа активных потоков в нем. Эта зависимость будет описываться прямой на Графике 3.3.1 с числом активных потоков и утилизацией канала в виде осей [3].

В реальных сетях пропускная способность канала ограничена, причем не только технологическими особенностями канала, но и топологией сети, смотри Рис. 3.1.1.

**График 3.3.1. Состояния сети в зависимости от нагрузки**



Дальнейшее увеличение числа запросов от пользователей приводит к тому, что при превышении некоторого предела, совпадающего с областью действия уравнения (3.2.3), прямо пропорциональная зависимость загрузки канала от числа активных потоков нарушается. Среднее время обслуживания потока растет и, соответственно, растет число активных потоков в исследуемом участке сети, средняя скорость одного потока падает. Поэтому точка, соответствующая реальному состоянию сети будет лежать ниже прямой, описывающей идеальное состояние сети.

Участок прямой, соответствующий идеальному состоянию сети, должен определять рабочий участок сети. При эксплуатации сети выход за пределы рабочего участка крайне нежелателен, так как он сопровождается

ухудшением качества связи. Конец рабочего участка определяется точкой перегиба, которая может быть найдена экспериментально. Положение этой точки зависит от множества факторов, таких как протокол транспортного уровня (ATM, SDH, Ethernet и т.д.), топология сети, размер буфера маршрутизатора и т.д.

Следует также упомянуть и о точке перегрузки сети, которая совпадает с концом области определения для уравнения (3.2.5). После этой точки в сети начинаются необратимые явления, приводящие к значительным потерям пакетов – свыше 5%.

То есть для тестирования сети предлагается строить зависимость загрузки канала от числа активных потоков в нем. Предполагаемая кривая изображена на Рис. 3.3.1 и на ней можно выделить три участка, соответствующие качественно различным состояниям сети.

Первая часть кривой, выделенная зеленым цветом, соответствует рабочему участку сети и характеризуется минимальными потерями IP-пакетов ( $p < 0.5\%$ ). Предполагается, что это прямая линия, которая заканчивается точкой перегиба. Найти эту точку можно экспериментальным путем, таким образом, определив длину рабочего участка.

Вторая часть кривой, выделенная желтым цветом, соответствует перегруженной сети и характеризуется более существенными потерями пакетов ( $0.5\% < p < 5\%$ ), что приводит к снижению эффективного размера передаваемого сегмента TCP/IP. При этом общее число потоков во внешнем канале (каналах) изучаемой сети, бывших активными за время сбора статистики, будет пропорционально времени наблюдения, поскольку пользователи не меняют своего поведения в зависимости от загрузки сети. Хотя совершенно ясно, что потоки имеют конечную длительность (порядка 5-10 с), и в какой-то удаленный момент времени большая их часть перестанет быть активными. Такое состояние сети характеризуется увеличением средней длительности потока (по сравнению с

длительностью потоков на рабочем участке) и, соответственно, к большему числу активных потоков, отнесенных к удельной нагрузке в исследуемый момент времени.

Красный участок кривой соответствует полностью неработоспособной сети со значительной потерей пакетов ( $p > 5\%$ ).

В заключение этого параграфа хотелось бы оценить значение доверительного интервала для рабочего участка кривой. Поскольку суммарная нагрузка исследуемого канала есть результат мультиплексирования большого количества потоков, независимых друг от друга, то согласно классической предельной теореме [7, 98] распределение суммарной нагрузки стремится к нормальному (Гауссову) распределению. Как уже упоминалось в предыдущем параграфе, вариация величины суммарной нагрузки  $V_R$  зависит от двух величин: постоянной прибытия потоков  $\lambda$  и среднего значения отношения квадрата размера потока к его длительности  $\mathbb{E}[S_n^2 / D_n]$  (см. уравнение (3.2.4)).

Это означает, что величина суммарного трафика лежит в следующих пределах [120]

$$\mathbb{E}[R(t)] - A(\epsilon)\sqrt{V_R} \leq R(t) \leq \mathbb{E}[R(t)] + A(\epsilon)\sqrt{V_R} \quad (3.3.1)$$

где  $A(\epsilon)$  нормальная квантильная функция. Уравнение (3.3.1) говорит о том, что величина суммарной нагрузки  $R(t)$  будет находиться вне указанных пределов только в  $100 \times \epsilon\%$  от общего времени наблюдения.

Учитывая, что

$$V_R = \lambda \mathbb{E}[S_n] * \mathbb{E}[S_n / D_n] \quad (3.3.2)$$

где  $\mathbb{E}[S_n / D_n]$  средняя скорость потока равная

$$\mathbb{E}[S_n / D_n] = \mathbb{E}[R(t)] / N \quad (3.3.3)$$

Тогда доверительный интервал для суммарной нагрузки может быть выражен следующим образом [55]

$$R(t) = k(N \pm A(\epsilon)\sqrt{N}) \quad (3.3.4)$$

где величины  $k$ ,  $A(\epsilon)$  могут быть найдены из анализа экспериментальных данных для рабочего участка кривой с Рис. 3.3.1.

### 3.4. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА КАК ОСНОВНОЙ ПАРАМЕТР ДЛЯ СРАВНЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ

В представленной в настоящей главе модели переменные  $\lambda$  и  $E[S_n]$  никак не связаны с текущим состоянием сети. Средний размер потока  $E[S_n]$  не зависит от конкретной сети, а является универсальной величиной, характеризующей свойства глобальной сети. Постоянная прибытия потоков  $\lambda$  (величина обратная к среднему значению промежутка времени между двумя последовательными интервалами) описывает поведение пользователей сети и не зависит от состояния сети или ее загрузки. Суммарное число потоков (запросов от пользователей), которые прибывают на данный участок сети, остается линейно зависящим от времени наблюдения, даже если в сети начинаются проблемы, и она не может удовлетворить все запросы пользователей.

Графическое описание состояния различных сетей, как это можно видеть на Рис. 3.3.1, будет отличаться углом наклона и длиной рабочего участка. Следовательно, эти параметры и можно использовать для индивидуального описания исследуемой сети. Так как эксплуатация сети всегда рекомендуется только в пределах рабочего участка, то с точки зрения качества предоставляемых услуг, состояние сети, соответствующее рабочему участку, может быть описано с помощью угла наклона прямой с Рис. 3.3.1. Этот угол наклона представляет собой усредненную скорость одного потока, измеряемую в Кбит/с. Данный параметр легко рассчитать,

например, по данным Cisco NetFlow [74]. В результате дальнейших исследований можно провести четкое соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и средней скоростью потока.

Для построения наиболее полной картины глобальной сети, ее мониторинга, поиска узких мест, а также разработки стандартов, описывающих новые приложения, и создания условий для внедрения новых протоколов и т.д., построена современная измерительная инфраструктура. В рамках гранта РФФИ 06-07-89074-а «Создание измерительной инфраструктуры для изучения качества Интернет приложений в российском сегменте глобальной сети» в 2006 году развернуты две стационарные измерительные точки, на базе Института Органической Химии РАН, сеть FREEnet, и на базе Самарской региональной сети для науки и образования в Самарском государственном аэрокосмическом университете.

Анализ данных, собранных на сетях Самарской региональной сети для науки и образования, российской федеральной научно-образовательной сети RBNNet, ирландской национальной научно-образовательной сети HEANet, сетей частных операторов связи (СамараТелеком) и т.д. позволяет проанализировать данные о зависимости качества соединений от средней скорости потока.

Результаты анализа можно свести в Таблицу 3.4.1.

К сожалению, в российском научно-образовательном сегменте пока нет возможности оперативно получать данные о средней скорости потока с региональных узлов из-за того, что соответствующее программное обеспечение не установлено. Но есть надежда, что с переходом в 2007 году на новое оборудование, эти данные будут доступны.

Ситуация в региональных научно-образовательных сетях по этому основному показателю не улучшается с 2002 года, когда был осуществлен

переход на каналы иерархии STM1. Так, средняя скорость потока в Самарской региональной сети для науки и образования была в то время чуть больше 7 Кбит/с, в то время как в коммерческих сетях она не превышала 1,5 Кбит/с. В настоящее время ситуация коренным образом поменялась. Средняя скорость потока в Самарской научно-образовательной сети понизилась до 3-4 Кбит/с, в то время как в коммерческих сетях она возросла до 10 Кбит/с. Даже для московских научно-образовательных сетей, например FREENet, в начале 2007 года этот параметр не превышал 6 Кбит/с.

**Таблица 3.4.1. Качество сети и возможность внедрения новых интернет сервисов**

№ пп	Средняя скорость потока в Кбит/с	Возможность голосовой связи	Возможность низкоскоростных видео конференций	Возможность высокоскоростных видеоконференций от 384 Кбит/с	Возможность грид вычислений
1	1	Нет	Нет	Нет	Нет
2	2	Низкого качества	Нет	Нет	Нет
3	4	Приемлемое качество	Низкого качества на скоростях до 30 Кбит/с	Нет	Нет
4	7	Отличное качество	Приемлемое качество	Низкое качество	Нет
5	15	Отличное качество	Хорошее качество (Q_MOS> 3,9)	Хорошее качество (Q_MOS> 4,0)	Нет
6	> 25	Отличное качество	Хорошее качество (Q_MOS> 3,9)	Отличное качество (Q_MOS> 4,0)	Пользовательский уровень

Средняя скорость потока описывает интернет подключение исследуемой сети в целом, однако при сеансах связи с удаленными точками дополнительное влияние оказывает структура глобальной сети. Даже если средняя скорость потока будет выше указанной в Таблице 3.4.1 для того или иного высокоскоростного сервиса, то это только необходимое условие для проведения сеанса связи. Достаточным же будет являться то, что

требуемая доступная полоса пропускания превысила некоторый предел, который для сеанса видео связи измеряется при помощи утилиты iperf [71].

Особое внимание было уделено поиску соответствий между данными, описывающими качество сети в целом (усредненная скорость потока) и качеством видеоконференций. В рамках создания измерительной технологии для внедрения видеосвязи и проведения включений прямого эфира в телепередачи исследовалось соответствие данных, полученных при помощи специализированных утилит, и реально возможной скоростью видео потоков.

Разработанная в содружестве с ведущими специалистами университета Огайо, США и ирландской научно-образовательной сети HEAnet аналитическая модель VVoIP приложений [28, 119] позволила сформулировать методику подбора параметров вещания (скорости потока, типа компрессии, частоты кадров, размера картинки и т.д.). Ключевой момент этой методики состоит в замере максимальной полосы пропускания потоков при помощи утилиты Iperf [71]. Предельная скорость потока видео данных для оборудования любых производителей не должна превышать 90% от полученной максимальной полосы (см. Таблицу 3.4.2).

Поэтому следующий блок измерений, проведенный в 2006 году, был посвящен анализу доступной полосы для пропуска видео потоков через существующую научно-образовательную инфраструктуру. Среди точек, для которых проводились измерения, были:

- операционный центр сети RNet (РосНИИРОС, Москва)
- операционный центр сети FREEnet (ИОХ РАН, Москва)
- СГАУ, Самара
- Ростовский государственный университет, Ростов на Дону
- ФТИНТ НАН Украины, Харьков
- OARNet, университет Огайо, США

Данные сведены в Таблицу 3.4.2

**Таблица 3.4.2. Доступная полоса для видео трафика**

№ пп	Участок	Доступная полоса			
		Прямое направление		Обратное направление	
		День	Ночь	День	Ночь
1	Самара – Москва (ИОХ РАН)	~ 300 Кбит/с	1-2 Мбит/с	60 Кбит/с	400 Кбит/с
2	Самара-Ростов	20Кбит/с	450 Кбит/с	20 Кбит/с	450 Кбит/с
3	Москва – Огайо (США)	> 600 Кбит/с	> 2 Мбит/с	> 1 Мбит/с	>2 Мбит/с
4	Самара - Харьков	20Кбит/с	200 Кбит/с	20 Кбит/с	200 Кбит/с

Полученные данные показали, что на базе даже региональных центров российских научно-образовательных сетей в дневное время суток невозможно проводить видеоконференции приемлемого качества (с MOS > 3,5) без специальной настройки сети.

### 3.5. МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ

Для того чтобы проверить высказанные предположения о структуре трафика и его свойствах были проведены эксперименты на маршрутизаторах (border gateway router), обслуживающих внешние каналы крупных сетей – ЗАО «СамараТелеком» в Самаре и ирландской научно-образовательной сети HEAnet. Каждый из исследуемых маршрутизаторов обслуживал несколько каналов – внешних и внутренних. Скорости данных подключений составляли 622 и 155 Mbps для HEAnet и 8 Mbps для СамараТелеком. Загрузка каналов варьировалась от 5% до 60%.

Данные о загрузке сети и количестве активных потоков были получены при помощи технологии Cisco NetFlow [74]. В Самаре измерения проводились на маршрутизаторе Cisco 7206 с настроенной поддержкой NetFlow. Следует отметить, что поддержка NetFlow должна быть включена на всех задействуемых интерфейсах, иначе результаты измерений будут некорректными. Так, наша первая попытка провести эксперимент на

Ирландской научно-образовательной сети HeaNet оказалась неудачной из-за неполной настройки технологии NetFlow на маршрутизаторах.

В СамараТелеком на основе NetFlow построена биллинговая система, поэтому получение данных ограничено текущими настройками программного обеспечения. Научно-образовательные сети не требуют очень подробной детализации трафика, связанной с тарифными планами и оплатой, в них имеется большая свобода в выборе настроек. Но в то же время обслуживающий персонал не обладает достаточными навыками по детализации трафика, а закупленное программное обеспечение часто не позволяет делать подобные точные измерения.

Как правило, сеть использует один или несколько внешних каналов, при этом внутренние присоединения остаются гораздо менее загруженными. Поэтому можно строить зависимость числа активных потоков на граничном маршрутизаторе от общей загрузки внешних каналов.

Это достигается с помощью следующих команд:

`>sh ip cache flow` -- дает информацию о количестве активных и неактивных потоков, об их параметрах в конкретный момент времени;

`>sh int` [названия внешних интерфейсов] - выдает информацию о текущей загрузке канала.

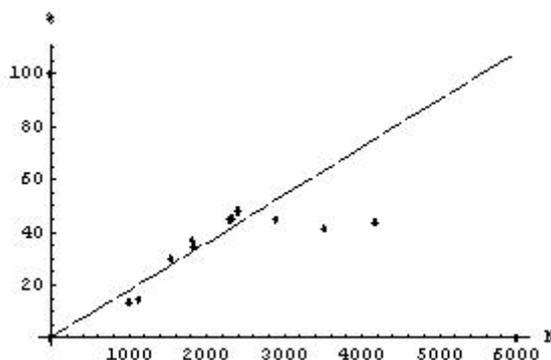
Данные, полученные в результате выполнения этих команд, содержат все необходимые значения для построения графика, аналогичного изображенному на Рис. 3.2.1. Их следует снимать круглосуточно, с интервалом в 30 (5) мин в течение недели, чтобы выявить поведение сети при различной загрузке. Достаточно легко написать соответствующий скрипт, который будет собирать данные с маршрутизатора на сервер управления.

Для GSR маршрутизатора с гигабитной матрицей коммутации снятие данных о количестве активных потоков достигается с помощью следующих команд

- *enable*
- *attach* [номер слота]
- *show ip cache flow*

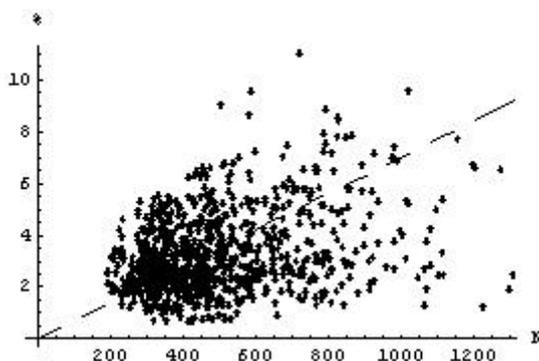
Ниже приведены данные о зависимости нагрузки от числа активных потоков для СамараТелеком. Эти данные снимались вручную в течении нескольких дней.

**Рисунок 3.5.1. Зависимость загрузки внешнего канала от числа активных потоков (СамараТелеком)**



Следующие данные относятся к внешнему каналу HEAnet (155 Mbps). Эти сведения собирались в течение трех суток, запросы проводились в автоматическом режиме каждые 5 минут.

**Рисунок 3.5.2. Зависимость загрузки внешнего канала от числа активных потоков (HEAnet)**



### 3.6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Как уже упоминалось выше, пробное тестирование проводилось на граничном маршрутизаторе ЗАО "СамараТелеком". В качестве внешних

каналов использовались четыре потока Е1, ведущих к различным магистральным Интернет-провайдерам.

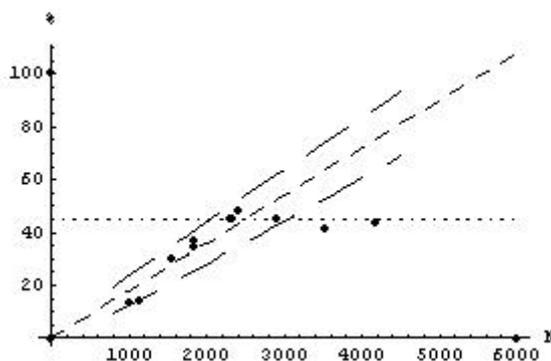
Нами было получено несколько десятков значений для различной загрузки сети, и результат этих измерений представлен на графике с Рис. 3.4.1, где на оси абсцисс отложено количество активных потоков, а на оси ординат - загрузка канала в процентах от максимальной величины.

Отдельные точки на графике соответствуют реальным состояниям сети, а пунктирная прямая из тире различных длин описывает ее идеальное состояние. Угол наклона этой прямой представляет усредненное отношение  $U / N$ , полученное для тех состояний, когда загрузка сети не превышала 40%.

Для того чтобы найти рабочий участок и доверительный интервал для состояний сети был построен следующий график с Рис. 3.6.1 с нанесенными на него дополнительными линиями.

Сверху рабочий участок ограничен прямой в виде отдельных точек, которая характеризует поведение сети при больших нагрузках. Пересечение двух прямых позволяет найти длину рабочего участка (0%-45%). Когда число потоков превышает 2500, сеть начинает испытывать перегрузки, приводящие к замедлению ее работы и ухудшению качества связи. Причем с ростом запросов общая загрузка канала практически не растет, а качество связи значительно снижается.

**Рисунок 3.6.1. Доверительный интервал и рабочий участок сети СамараТелеком**



Отметим, что на исследуемой сети практически отсутствует переходный участок (см. рис. 3.2.1), а в часы наибольшей нагрузки сети ее реальная пропускная способность сети более чем вдвое ниже объявленной.

В данном случае правило 50% для среднесуточной утилизации не работает. Даже предельная (а не среднесуточная) нагрузка в 45% приводит к сбоям в сети. То есть приведенный в данной работе тест позволяет судить о состоянии сети более тщательно, чем принятые до сих пор правила. Такая ситуация объяснялась тем, что из-за дороговизны каналов первичной транспортной сети и нежелания магистральных провайдеров предоставлять возможность передачи голоса и видео через публичные каналы, средняя утилизация магистральных каналов превышала 80%, а их пропускная способность была, по меньшей мере, втрое меньше пропускной способности подключенных к ним операторов. Предложенный тест показал наличие недостатков у вышестоящих поставщиков услуг интернет без доступа к их инфраструктуре связи.

Выделение на графике рабочего участка сети позволяет оценить среднюю скорость потока, которая для сети СамараТелеком оказалась равной 1400 bps. Такое значение неприемлемо для большинства интернет приложений за исключением НТТР и FTP соединений. IP сеть с такими характеристиками практически не дает возможности для передачи голоса и видео. Так голосовые кодеки требуют полосы пропускания в пределах 10-18 Kbps для телефонной связи и до 144 Kbps для музыкального вещания.

Значение нормальной квантильной функции может быть оценено для графика с Рис. 3.6.1 как

$$A_{ST}(0.05) = 10 \quad (3.6.1)$$

Это означает, что только 5% результатов будет лежать вне интервала

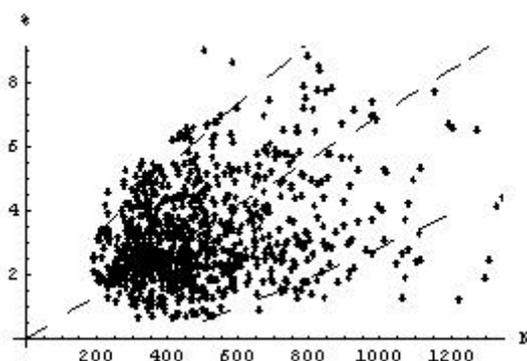
$$R(t) = 1400(N \pm 10\sqrt{N}) \text{ [bps]} \quad (3.6.2)$$

Последнее уравнение дает важный критерий для поиска проблемных состояний сети: если в результате двух последовательных измерений (через 5(30) минут) состояния сети будут лежать вне доверительного интервала, то сеть испытывает те или иные трудности.

Сравним теперь данные о сети СамараТелеком с результатами, полученными в сети HEAnet:

Средняя скорость потока в сети HEAnet равняется 15 Kbps, что на порядок больше, чем у СамараТелеком. и имеется возможность передавать голос, а на отдельных направлениях и качественное видеоизображение. Следует отметить, что по нашим наблюдениям среднее значение скорости потока в Самарской региональной сети науки и образования в 2003 году было равным 7-8 Kbps. Этот факт объясняется тем, что в рамках федеральной межведомственной программы по развитию сети для науки и образования RBNet была одной из первых магистральных сетей, перешедших на транспортные каналы верхнего уровня иерархии PDH (45 Mbps).

**Рисунок 3.6.2. Доверительный интервал сети HEAnet**



Значение нормальной квантильной функции может быть оценено для графика с Рис. 3.6.2 как

$$A_{HN}(0.05) = 20 \quad (3.6.3)$$

Это означает, что только 5% результатов будет лежать вне интервала

$$R(t) = 15000(N \pm 20\sqrt{N}) \text{ [bps]} \quad (3.6.4)$$

В настоящей главе описана методика, позволяющая оценивать качество Интернет-каналов на основе потоковых технологий и своевременно увеличивать их пропускную способность. Сейчас мы работаем над созданием утилит для имеющегося программного обеспечения, которые позволят автоматически строить кривую зависимости загрузки канала от числа активных потоков и вычислять длину рабочего участка.

В дальнейшем планируется провести исследования по оценке параметров потока и, прежде всего, скорости передачи данных. Предполагается вывести аналитическую зависимость скорости потока (времени передачи файла определенного размера между двумя удаленными IP-узлами) от времени доставки пакета и процента их потерь. Другими словами, мы хотим предложить методику теоретической оценки качества соединения по данным команды ping и ее аналога для TCP-пакетов (tcp ping).

## **ГЛАВА 4. ТРЕБОВАНИЯ К СЕТИ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ДЛЯ ПРОПУСКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПОТОКОВ**

В условиях стремительного роста трафика российских научно-образовательных сетей и наметившегося перехода к технологиям сетей нового поколения (NGN) все более значительным становится вклад средне- и высокоскоростных Интернет приложений, работающих в режиме реального времени (Real-Time Protocols, RTP). Успешное внедрение таких приложений, как высококачественные видеоконференции, грид (grid) инфраструктур, peer-to-peer (p2p) проектов предъявляет определенные требования к параметрам сети. В этих условиях важно понять, как ведет себя такой трафик в TCP/IP сетях.

Дополнительные исследования необходимы, прежде всего, в разработке критериев для оценки качества средне и высокоскоростных интернет - приложений, таких как

- передача видео
- p2p приложений (kazaа, Skype)
- грид приложения

При этом данные, полученные с помощью таких исследований, послужат надежной основой для разработки аналитических моделей и соответствующего программного обеспечения.

### **4.1. ОБЗОР ОСНОВНЫХ МУЛЬТИМЕДИА ТЕХНОЛОГИЙ И ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИХ КАЧЕСТВО**

Вышеупомянутые интернет-приложения объединяет тот факт, что данные необходимые для их функционирования должны передаваться в режиме реального времени. Международные стандарты H.320, H.323, а также SIP описывают важнейшие мультимедийные технологии. Эти технологии ассоциируются, прежде всего, с сетевой инфраструктурой и голосовыми и

видео приложениями поверх IP транспорта (Voice and Video over IP, VVoIP), такими как видеоконференции, видео по требованию и интернет телевидение (IPTV).

Для оценки их качества применяются различные подходы [71, 75, 86, 94]. Однако можно выделить три основных фактора, влияющих на качество связи, как это показано на Рис. 4.1.1:

- структура передаваемого и получаемого сигналов, определяемая оборудованием VVoIP систем.
- качество сети передачи данных, используемой в качестве среды передачи
- человеческое восприятие, служащее основой для оценки качества аудио и видео приложений

**Рисунок 4.1.1. Схема основных факторов, влияющих на качество связи**





связи. В идеале, подобные исследования должны заложить основы для нового стандарта для высокоскоростной передачи аудио и видео информации через глобальную сеть Интернет.

Для того чтобы понять взаимоотношения трех основных факторов, влияющих на качество связи можно выделить основные этапы передачи аудиовизуальной информации через сеть на основе IP протокола, как это показано на рис. 4.1.2.

**Таблица 4.1.1. Основные технологии потокового видео**

Качество изображения	Технология	Скорость передачи
Цифровое телевидение высокой четкости, $R=1980*1080$ , $F_r=60$ , $q=32$	MPEG-2	3 – 6 <i>Mbps</i>
VCR качество, $R=400*300$ , $F_r=30$	MPEG-1	1,2 <i>Mbps</i>
Видеоконференции (низкая скорость), $R=CIF (352*288)$ , $F_r=15-30$ , $q=16$	H.261, H.263	28.8 – 384 <i>Kbps</i>

Непрерывный видеоряд, поступающий от наблюдаемого объекта, преобразуется сначала в дискретный ряд, то есть последовательность отдельных изображений, а затем кодируется в цифровую последовательность и разбивается на пакеты при помощи специализированного оборудования. Пакетный поток передается через сеть, испытывая искажения, связанные с вариацией задержки и потерями пакетов. Для устранения искажений, связанных с джиттером, применяется схема буферизации, после которой происходит декодирование полученной последовательности пакетов.

Среди основных интерактивных мультимедиа технологий можно выделить следующие (см. Таблицу 4.1.1).

## 4.2. ТЕРМИНОЛОГИЯ

В этом разделе будут определены переменные, описывающие основные факторы, влияющие на качество связи. Эти переменные будут использованы в аналитической модели, а также экспериментальных исследованиях.

**Фактор оборудования**, обобщающий данные о структуре передаваемого и принимаемого сигналов, может быть описан при помощи следующих переменных:

*Частота обновления видеоряда  $F_r$* , показывает число кадров в секунду.

Разрешение видеоизображения  $R$ , характеризует возможность различать близко расположенные линии в получаемом изображении, измеряется в количестве точек (pixels) по вертикали и диагонали. Стандарт H.263 предусматривает передачу видео изображений в следующих форматах: sub-QCIF (88x72), QCIF (176x144), CIF (352x288), 4CIF (704x576), and 16CIF (1408x1152).

*Цветовая гамма  $q$* , измеряющаяся в числе битов использующихся для передачи цвета каждой точки видеоизображения.

*Синхронизация аудио и видео сигналов  $S$* , характеризует временное несоответствие между звуком и изображением. В большинстве систем видеоконференций видео и аудио кодируются и передаются отдельно и восстанавливаются на приемной стороне.

*Линейность  $L$* , описывает плавность видеоряда. Эта величина производная от частоты обновления видеоряда  $F_r$ , и описывает отклонения от среднего значения данного параметра. Она иллюстрирует тот факт, что при передаче 26-ти кадров за первые полсекунды и четырех кадров за последующую половину секунды, качество видеоряда будет значительно хуже, чем при равномерной передаче 30-ти кадров в секунду.

Скорость кодированного сигнала  $B_s$ , описывает видео поток, генерирующийся видео кодеком  $C_{en}$  с коэффициентом компрессии  $\tau$  (см. Рис. 4.1.2).

Эта величина зависит от возможностей оборудования, типа кодируемого изображения  $A_l$ , ширины полосы доступа в Интернет  $K$  и может быть записана как

$$B_s = \chi(K, A_l, \tau) F_r R q \quad (4.2.1)$$

Межпакетный интервал или джиттер исходного сигнала  $I_n$  определяется как промежуток времени между двумя последовательными пакетами.

Аудио и видео поток состоит из UDP пакетов различного размера, передающихся через случайные промежутки времени как это показано на Рис. 4.2.1. Следует отметить, что потоки, отвечающие за передачу аудиоинформации, хорошо изучены, поэтому мы сосредоточимся на исследовании видео потоков с высокой степенью разрешения изображения (CIF, 4CIF;  $F_r=30$ ;  $q>16$ ).

Обозначим через  $T_n$  – время отправки  $n$ -го UDP пакета,  $W_n$  – его размер, а через  $I_n=T_{n+1}-T_n$  – межпакетный интервал, как это показано на Рис. 4.2.1.

Среди параметров, описывающих *сетевое соединение* (см. Рис. 4.1.1), можно выделить следующие:

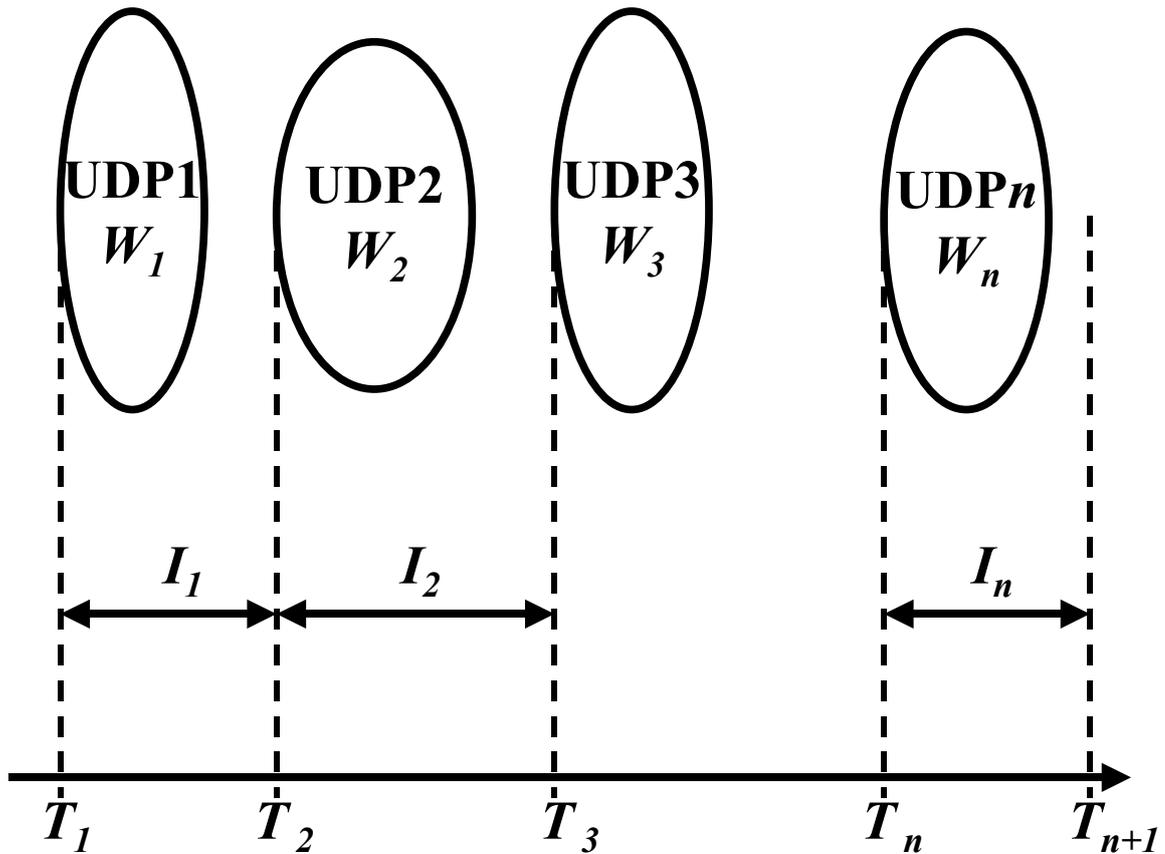
*Задержка пакета*  $D_n$ , вызванная его передачей по сети. Это время между поступлением в сеть первого бита информации из блока и его получением в приемной точке. Этот параметр важен для синхронизации приложений.

*Джиттер*  $j_n=D_{n+1}-D_n$  или вариация задержки пакетов.

*Потери*  $p$  – величина, описывающая долю потерянных пакетов, т.е. таких пакетов, которые никогда не достигли точки назначения или поступили слишком поздно.

*Перестановка пакетов* описывает нарушение очередности следования пакетов, заданной в точке их отправления.

Рисунок 4.2.1. Структура мультимедийного сигнала на уровне пакетов



При оценке фактора *человеческого восприятия* существенными являются следующие величины.

*Тип аудиовизуального ряда* описывает мультимедийное содержание с точки зрения скорости обновления передаваемой картинки. Следует различать медленно изменяющиеся изображения, такие как обычные видеоконференции или бизнес презентации или, по-иному, говорящие головы, и быстро движущиеся картинки, например, музыкальные концерты, особенно видео клипы в стиле action, и спортивные события.

Для оценки качества видео и аудио используются субъективные и объективные методы оценки. Субъективная оценочная шкала (Mean Opinion Score, MOS) основана на человеческом восприятии, объективные методы оценки основаны на анализе соотношения сигнал-шум (signal-to-noise ratio, SNR), средней квадратичной ошибки (Mean Square Error, MSE) и т.д.

Оценка по шкале MOS при передаче видео роликов по сети заключается в ранжировании качества числом от 1 до 5 согласно специальной методике. Подобные видео ролики включены в состав H.323 Beacon tool [70], (<http://www.itecohio.org/beacon>), который мы использовали для тестирования.

### 4.3. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АУДИОВИЗУАЛЬНОГО ТРАФИКА

В этом разделе описываются ключевые идеи аналитической модели для аудиовизуальных потоков данных. Эта модель применима и к низкоскоростным мультимедийным потокам, но в данной работе особое внимание будет уделяться высокоскоростным системам передачи аудиовизуальной информации.

На Рис. 4.1.2 выделены основные процессы, происходящие при передаче аудиовизуальной информации. В основе аналитической модели лежат следующие утверждения:

- Передача и прием аудиовизуальной информации (RTP приложений) на уровне пакетов описывается Марковским процессом
- Распределение размеров пакетов  $\{W_n\}$  и межпакетных интервалов  $\{I_n\}$  характеризуется их средними величинами  $E[W_n]$  и  $E[I_n]$ . Средние значения этих параметров  $E[W_n]$  и  $E[I_n]$  описываются конечными величинами.
- Для того, чтобы мера рассеяния последовательности  $\{I_n\}$  описывалась конечной величиной будет использоваться межквартильная широта  $Q[I_n] = Q_{3/4} - Q_{1/4}$ , а не стандартная дисперсия.
- Существует функция  $\varphi$  (см. ур-ние 4.3.1), описывающая соответствие между сетевым джиттером  $j$  и межпакетным интервалом исходного сигнала  $E[I_n]$  с одной стороны, и получаемым конечным пользователем качеством аудиовизуального потока  $Q_{MOS}$  с другой.

Основной целью данной работы является графическое построение функции  $\varphi$  как двумерной поверхности на трехмерном графике с осями:

- Межпакетный джиттер исходного сигнала  $\mathbb{E}[I_n]$ , соответствующий фактору оборудования.
- Сетевому джиттеру  $j$  (сетевой фактор)
- Изменению качества аудиовизуального сигнала (человеческий фактор) в процессе его передачи по сети  $\Delta Q_{MOS} = Q_{MOS}^S - Q_{MOS}^R$ , где  $Q_{MOS}^S$  качество передаваемого видеосигнала по шкале  $MOS$ , а  $Q_{MOS}^R$  качество принимаемого сигнала.

Заметим, что меньшее значение средней величины межпакетного интервала  $\mathbb{E}[I_n]$  соответствует лучшему качеству исходного аудиовизуального потока, характеризующемуся большими значениями  $R$ ,  $F_r$  и  $q$ .

В работе P. Calyam, M. Sridharan, W. Mandrawa, P. Schopis, Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic, РАМ2004 исследовалась зависимость качества видеоконференций от сетевых параметров и был сделан вывод о том, что  $Q_{MOS}$  наиболее чувствительно к изменениям величины сетевого джиттера  $j$ , чем к изменениям задержки  $D_n$  и потерь  $p$ . Таким образом, сетевой джиттер является основным параметром, описывающим сетевой фактор, равно как и межпакетный джиттер исходного сигнала  $\mathbb{E}[I_n]$  определяет поведение фактора оборудования.

Очевидно, что основным эффектом, влияющим на искажение первоначального сигнала, является *перестановка пакетов* или нарушение очередности следования пакетов, заданной в точке их отправления, как это показано на Рис. 4.3.1.

Количественной мерой, описывающей эффект перестановки пакетов, является отношение величины сетевого джиттера к величине межпакетного интервала исходного сигнала:

$$\varphi(\Delta Q_{MOS}) = j / \mathbb{E}[I_n] \quad (4.3.1)$$

Меньшие значения сетевого джиттера соответствуют большему искажению первоначального сигнала, то есть худшему качеству принимаемого сигнала. Коллекционируя данные о качестве связи для различных скоростей передачи

аудиовизуального сигнала, параметров сети и типов оборудования можно определить значения функции  $\varphi$  и проанализировать ее поведение.

Уравнение 4.3.1 описывает основной эффект, влияющий на качество связи, в то же время другие переменные, используемые для описания основных факторов, также могут вносить свой вклад в обеспечение качества аудиовизуальных потоков. Однако, эти эффекты будут вносить поправки более высоких порядков.

**Рисунок 4.3.1. Нарушение очередности следования пакетов**



Предложенная модель позволяет также определить ряд основных параметров, используемых при создании алгоритмов кодирования, таких как длительность буферизации  $Y_{max}$ .

Для устранения эффекта перестановки пакетов, как это показано для пакетов 2 и 3 на Рис. 4.3.1, используется их промежуточное накопление в точке приема (см. Рис. 4.1.2). Процесс промежуточного накопления, во время которого восстанавливается порядок следования пакетов, называется

буферизацией. Время, в течение которого происходит такое накопление, называется длительностью буферизации  $Y_{max}$ . Если пакет из очереди не был получен в течение этого времени, то есть время его отклонения от нормального порядка превысило  $Y_{max}$ , то он считается утерянным, см. Рис. 4.3.1 для пакетов 2 и 3. Естественно, что потеря пакета по любой причине влияет на качество связи  $Q_{mos}$ .

Обозначим через  $Y_n$  время прибытия  $n$ -го пакета в точку приема. Очевидно

$$Y_n = I_n + j_n \quad (4.3.2)$$

Теперь задача состоит в том, чтобы оценить длительность буферизации  $Y_{max}$  максимально необходимую для того, чтобы потери не превышали заданного значения  $P(Y \geq Y_{max})$ . С учетом того, что межпакетный интервал  $E[I_n]$  приемного сигнала характеризуется конечной величиной, марковский процесс для хвоста распределения (значений функции распределения для больших величин  $I_n$ ) может быть заменен Пуассоновским процессом.

Вероятность того, что пакет не достигнет точки назначения за время  $Y_{max}$ , прошедшее со времени прибытия предыдущего пакета, для Пуассоновского процесса с постоянной прибытия

$$\lambda = 1/E[I_n] \quad (4.3.3)$$

равно [7, §50]

$$P(Y_n \geq Y_{max}) = \exp(-\lambda Y_{max}) \quad (4.3.4)$$

Тогда, используя данные эксперимента можно легко вычислить значения длительности буферизации  $Y_{max}$

$$Y_{max} = -\ln P(Y_n \geq Y_{max})E[I_n] \quad (4.3.5)$$

#### 4.4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для проверки аналитической модели и предположений, лежащих в ее основе была проведена серия экспериментов с интерактивными мультимедийными

потоками. Эти потоки соединяли различные точки через научно-образовательные и коммерческие сети. Среди базовых точек следует отметить

- Точку в сети OARnet, университет Огайо, США. Прасад Калям (Prasad Galyam) являлся соавтором в серии работ, положенных в основу данной главы. Он также является автором программного обеспечения, позволяющего экспериментально оценивать все необходимые параметры, включая оценку аудиовизуального потока по шкале *MOS*.
- Точка в управляющем центре NEAnet, ирландской научно-образовательной сети, г. Дублин. Уоррен Дейли (Warren Daly) активно участвует в исследовательской программе по созданию измерительных механизмов глобальной сети.
- Точка при центре управления российской научно-образовательной сети RBNet, принадлежащей Российскому научно-исследовательскому институту развития общественных сетей (РосНИИРОС).
- Точка в Самарской региональной научно-образовательной сети.

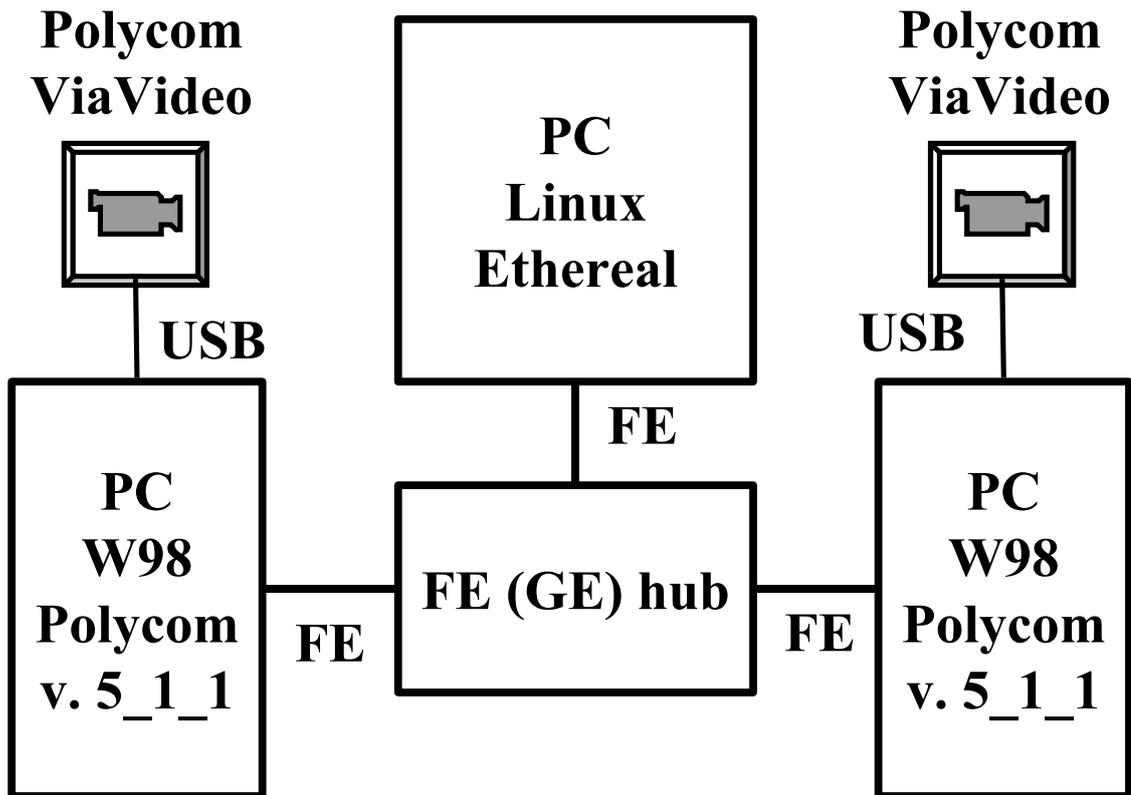
При помощи пакета Ethereal анализировались RTP пакеты, составляющие аудиовизуальные потоки с различными скоростями передачи, варьирующимися от 384 Kbps до 2048 Kbps. Во время видео сессий между точками данные обо всех RTP пакетах записывались в файлы и впоследствии анализировались. Для анализа данных, временной синхронизации и восстановления значений параметров, описывающих основные факторы, использовались также пакеты RIPE test box [111] и OARnet H.323 Beacon [70].

Проведенные нами эксперименты можно разделить на две основные группы:

**1) Установление характеристик исходного сигнала:** для их установления видеоконференция проводилась между двумя точками в локальной сети, как это показано на Рис. 4.4.1

В процессе проведения эксперимента скорость видео потока варьировалась, ее значения составляли 128, 384, 768, 1920 Kbps. При помощи фильтров Ethereal выделялись только H.263 пакеты, несущие информацию о видео, а G.722 пакеты игнорировались, так как передача голоса по сети достаточно хорошо изучена и вдобавок не требует высоких скоростей.

**Рисунок 4.4.1. Схема эксперимента в локальной сети**



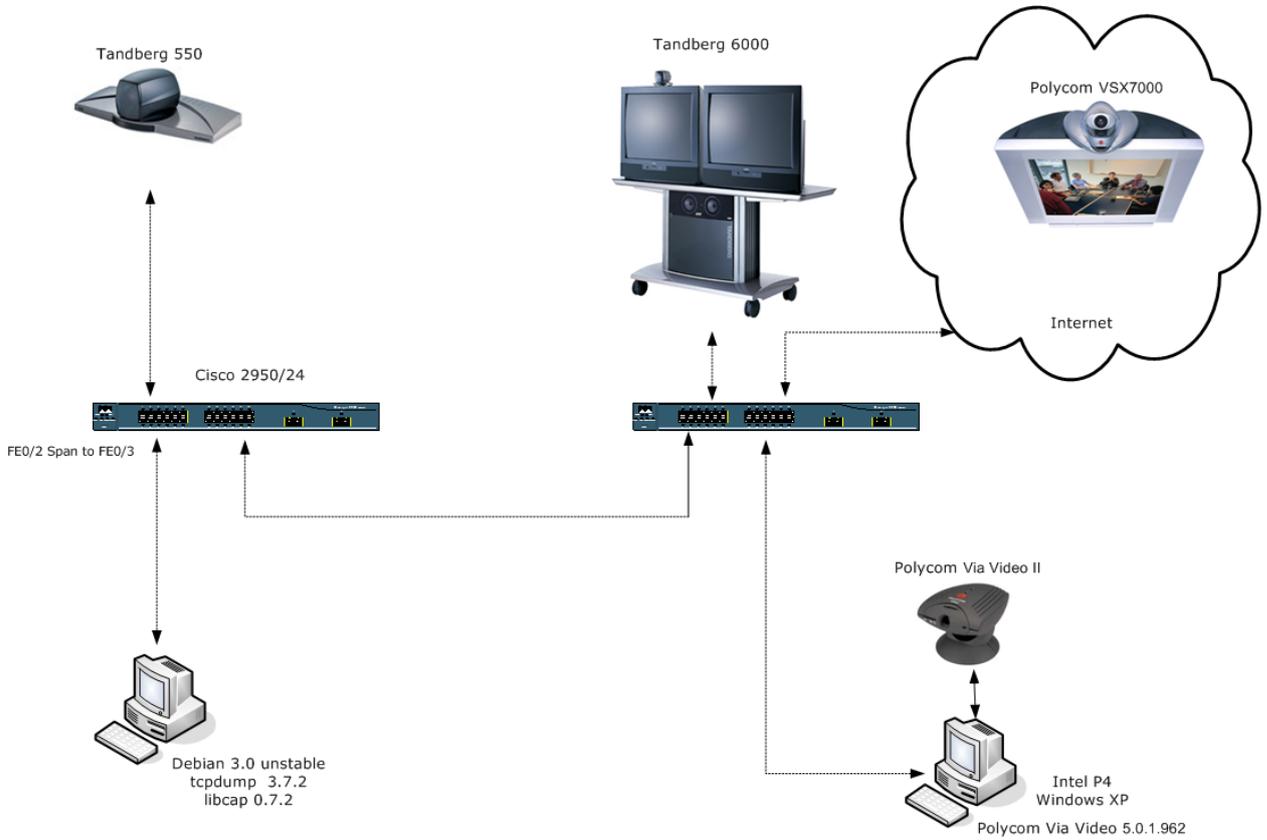
В ходе тестов использовалось оборудование от различных производителей, наилучший набор оборудования видеоконференционной связи было предоставлено HEAnet, как это показано на Рис. 4.4.2

В результате тестирования стало возможным получить данные о плотности распределения для последовательностей  $\{I_n\}$  и  $\{W_n\}$  и вычислить средние значения  $E[W_n]$  и  $E[I_n]$ , а также межквартильную широту  $Q[I_n]$ .

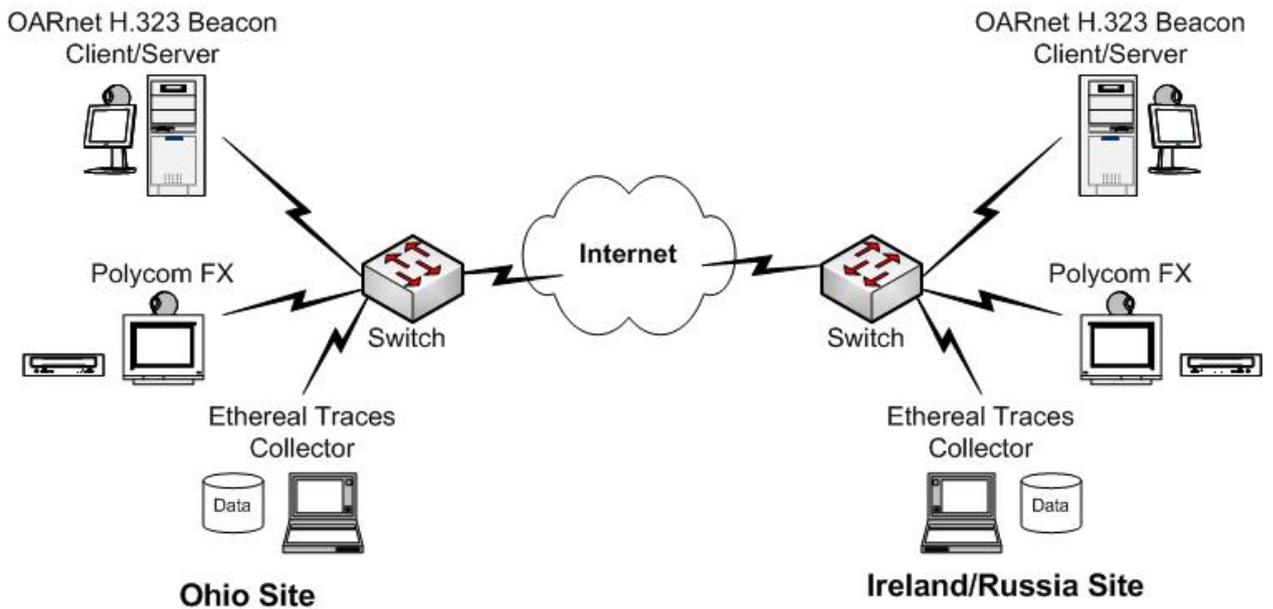
2) *Поиск параметров, описывающих сетевой фактор:* как уже упоминалось выше, при передаче по сети первоначальный аудиовизуальный

поток данных искажается. Вторая серия экспериментов нацелена на то, чтобы найти численные характеристики такого искажения.

**Рисунок 4.4.2. Схема тестирования оборудования в сети HEAnet**



**Рисунок 4.4.3. Схема эксперимента в глобальной сети.**



Для этого проводится видеоконференция между двумя удаленными точками в глобальной сети, например, между Самарой и Колумбусом или Москвой и

Дублином, как это показано на Рис. 4.4.3. При этом данные обо всех видео (RTP, H.263) пакетах записываются в обеих конечных точках с синхронизированной временной отметкой. Разбивая эти данные на входящий и исходящий видео потоки можно получить данные о сетевом факторе и факторе оборудования, включая сведения о порядке следования пакетов. Дополнительное программное обеспечение (H.323 OARnet Beacon) позволяет оценить качество получаемого изображения по шкале *MOS*.

#### 4.5. СТРУКТУРА ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО СИГНАЛА

В предыдущем разделе была описана процедура тестирования, которая позволяет установить структуру первоначального сигнала. В результате теста получается набор данных, образец которых приведен ниже для случая, когда видеоконференция проводится между двумя точками с оборудованием Polycom на скорости 384 Kbps:

970	21.46769	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263
1173	21.471218	193.1.219.189	193.1.219.209	H.263
965	21.488726	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263
952	21.491235	193.1.219.189	193.1.219.209	H.263
833	21.499349	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263
1111	21.511339	193.1.219.189	193.1.219.209	H.263
841	21.521452	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263
1343	21.541497	193.1.219.189	193.1.219.209	H.263
1020	21.543882	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263
997	21.563961	193.1.219.209	193.1.219.189	H.263

Структура данных, собранная с помощью Ethereal, включает следующие пункты:

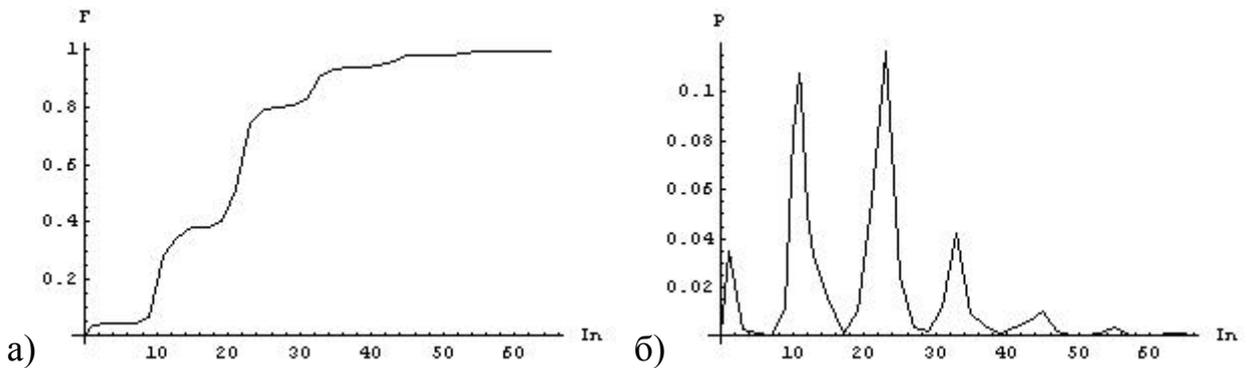
- Первый столбец – размер пакета в байтах
- Второй столбец – время прибытия пакета
- Третий столбец – IP адрес точки отправления
- Четвертый столбец – IP адрес точки назначения
- Пятый столбец – тип протокола видео связи

Анализируя полученную информацию можно определить:

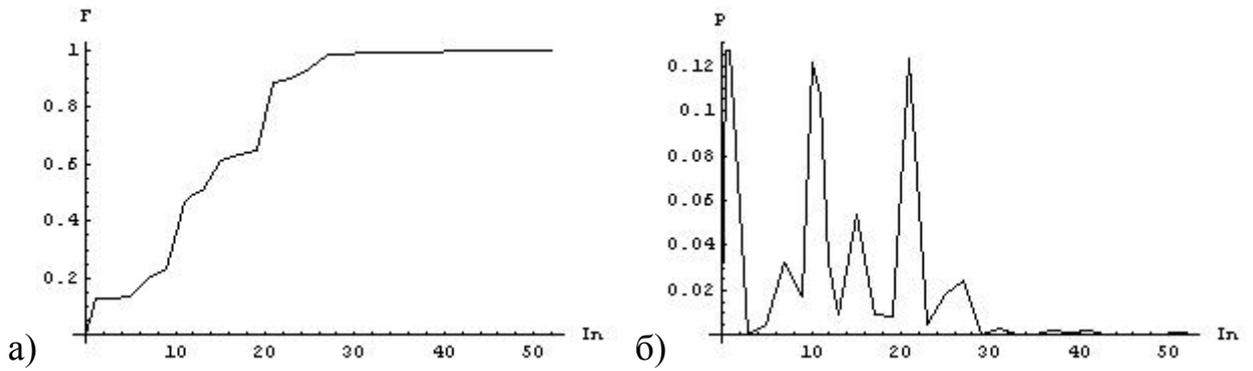
- Параметры распределения межпакетного интервала исходного сигнала
- Параметры распределения размера пакетов
- График прибытия пакетов

Все эти данные сведены к единому формату на графиках с Рис. (4.5.1 – 4.5.7) и в Таблице 4.5.1.

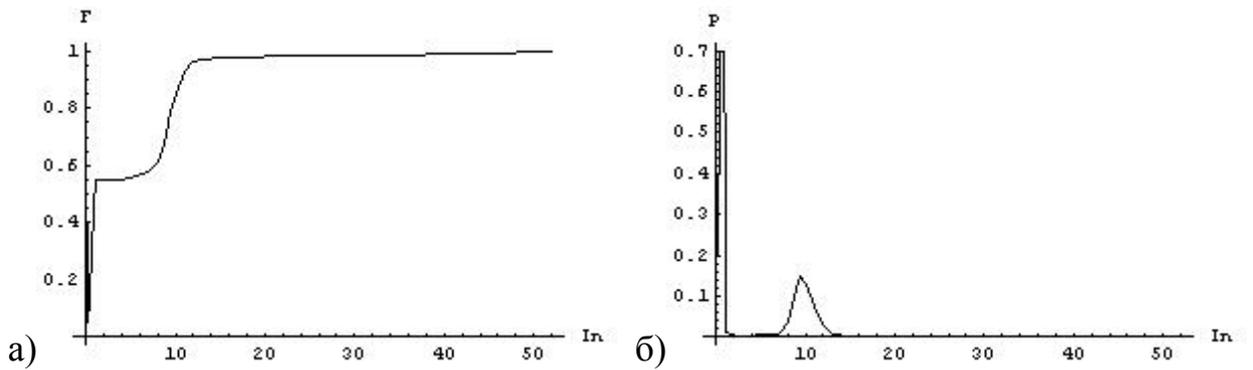
**Рисунок 4.5.1. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для межпакетного интервала исходного сигнала на скорости 384 Кbps. Среднее значение межпакетного интервала  $E^{384}[I_n]=20.0 \text{ ms}$ , межквартильная широта  $Q^{384}[I_n]=12.6 \text{ ms}$ , квартили  $Q_{1/4}^{384}[I_n]=10.8 \text{ ms}$ ,  $Q_{3/4}^{384}[I_n]=23.4 \text{ ms}$ .**



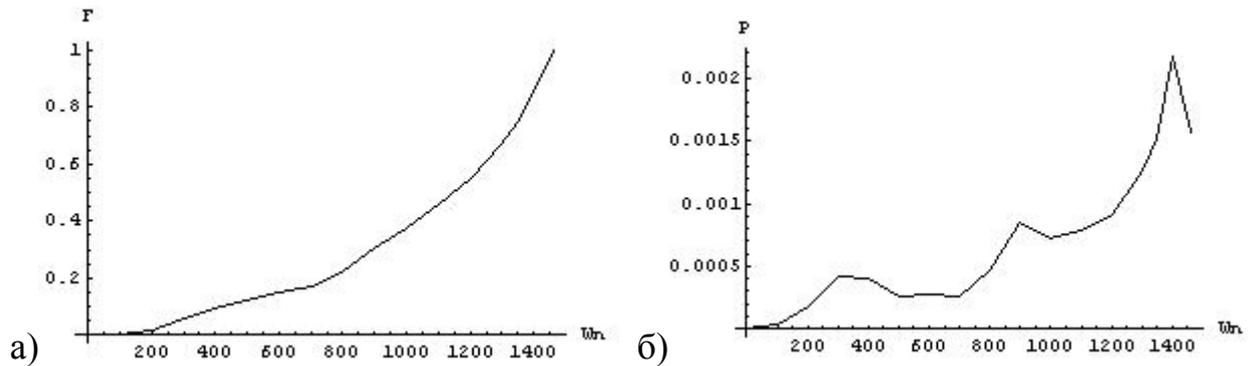
**Рисунок 4.5.2. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для межпакетного интервала исходного сигнала на скорости 768 Кbps. Среднее значение межпакетного интервала  $E^{768}[I_n]=13.4 \text{ ms}$ , межквартильная широта  $Q^{768}[I_n]=10.7 \text{ ms}$ , квартили  $Q_{1/4}^{768}[I_n]=9.3 \text{ ms}$ ,  $Q_{3/4}^{768}[I_n]=20.0 \text{ ms}$ .**



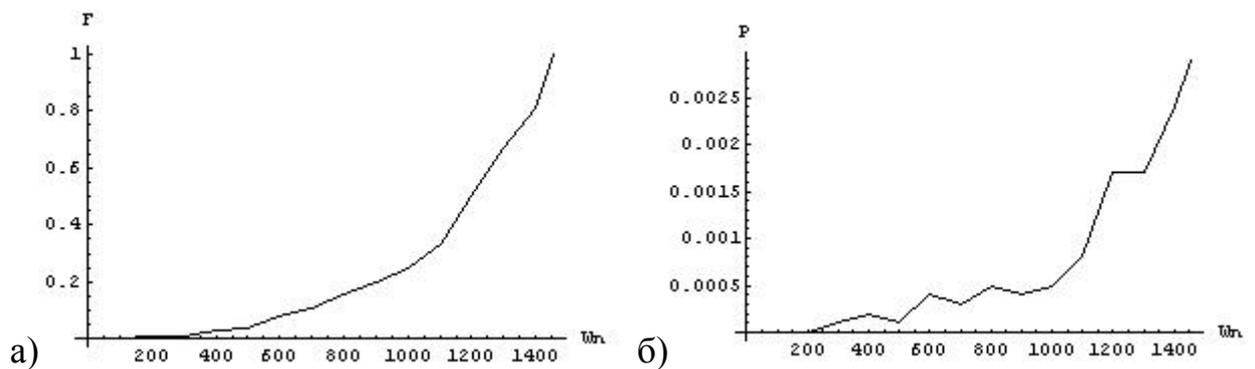
**Рисунок 4.5.3. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для межпакетного интервала исходного сигнала на скорости 1920 Кbps. Среднее значение межпакетного интервала  $\mathbb{E}^{1920}[I_n]=5.1 \text{ ms}$ , межквартильная широта  $Q^{1920}[I_n]=8.6 \text{ ms}$ , квартили  $Q_{1/4}^{1920}[I_n]=0.6 \text{ ms}$ ,  $Q_{3/4}^{1920}[I_n]=9.2 \text{ ms}$ .**



**Рисунок 4.5.4. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для размера пакета на скорости 384 Kbps. Среднее значение размера пакета  $E^{384}[W_n]=1043$  байт, межквартильная широта  $Q^{384}[W_n]=523$  байта, квартили  $Q_{1/4}^{384}[W_n]=827$  байт,  $Q_{3/4}^{384}[W_n]=1350$  байт.**



**Рисунок 4.5.5. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для размера пакета на скорости 768 Kbps. Среднее значение размера пакета  $E^{768}[W_n]=1126$  байт, межквартильная широта  $Q^{768}[W_n]=362$  байт, квартили  $Q_{1/4}^{768}[W_n]=996$  байт,  $Q_{3/4}^{768}[W_n]=1358$  байт.**



**Рисунок 4.5.6. Функция распределения [а)] и плотность распределения [б)] для размера пакета на скорости 1920 Kbps. Среднее значение размера пакета  $E^{1920}[W_n]=1086$  байт, межквартильная широта**

$Q^{1920}[W_n] = 533$  байт, квантили  $Q_{1/4}^{1920}[W_n] = 860$  байт,

$Q_{3/4}^{1920}[W_n] = 1393$  байт.

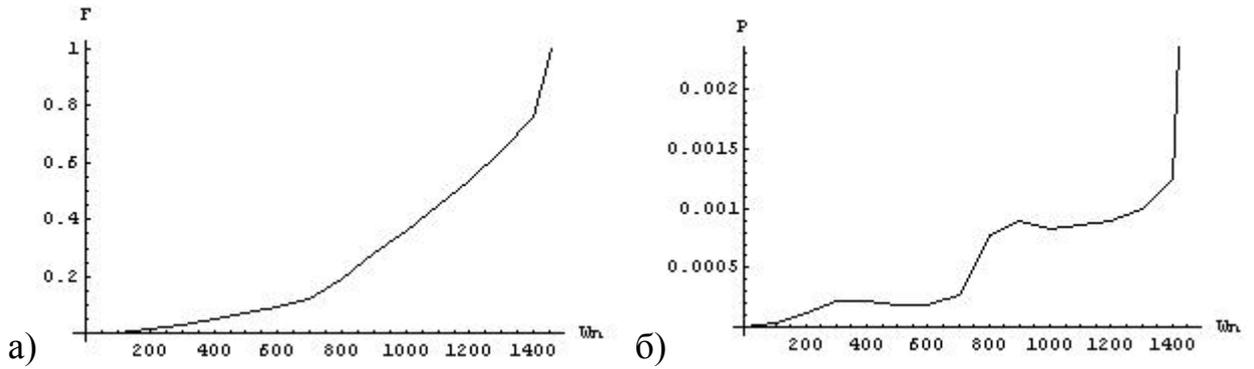


Рисунок 4.5.7. График прибытия RTP пакетов

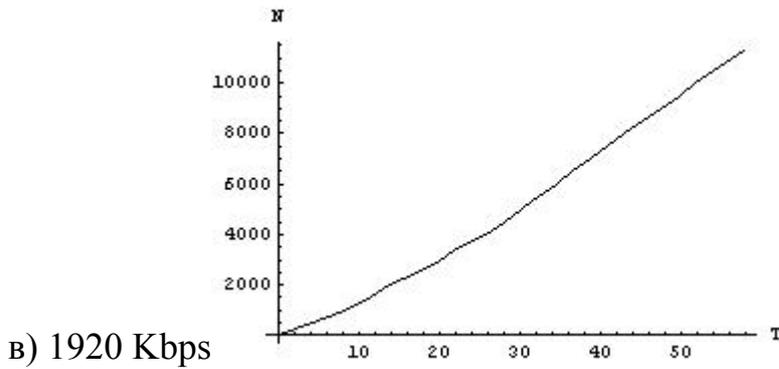
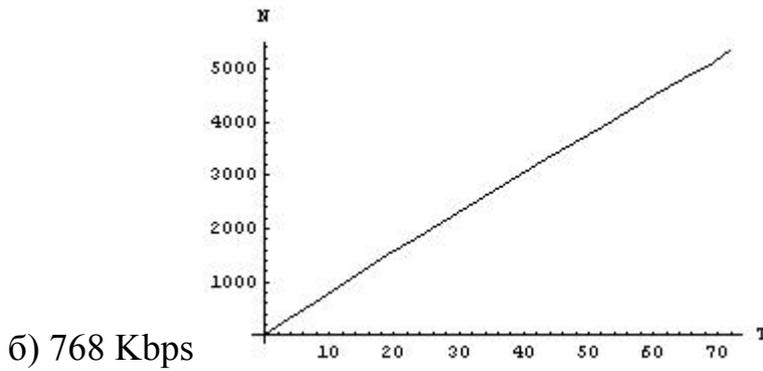
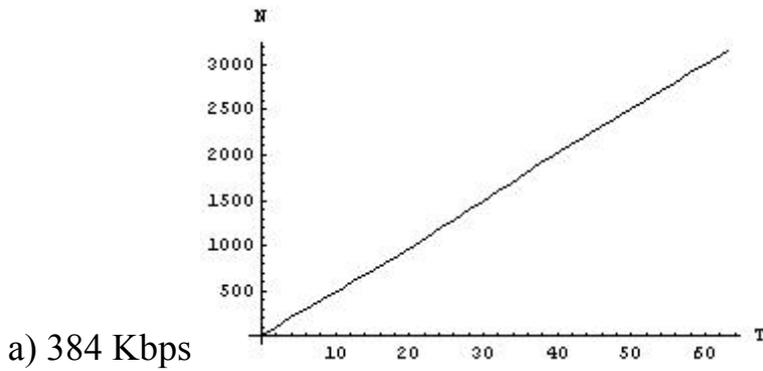


Таблица 4.5.1. Параметры распределений  $\{I_n\}$ ,  $\{W_n\}$ 

Разрешение изображения	Скорость $B_s, Kbps$	Среднее значение $\mathbb{E}[I_n], ms$	Межквартильная широта $Q[I_n], ms$	Среднее значение $\mathbb{E}[W_n], байт$	Межквартильная широта $Q[W_n], байт$
QCIF, CIF	128	600-800	600-800	70-100	50-80
CIF, 4CIF	384	900-1100	300-600	20-30	10-20
CIF, 4CIF	768	1000-1200	300-600	12-20	10-15
4CIF	1920	1000-1300	400-600	5-10	7-12

График с Рис. 4.5.7 показывает суммарное число пакетов  $N$ , прибывающих на измерительную точку в течение приблизительно 60 секунд. Очевидно, что величина прибытия  $\lambda$  остается достаточно точной постоянной в течение этого периода.

Общий вид функций распределений  $F$  и их плотностей  $p$  для межпакетного интервала исходного сигнала приведены на графиках с Рис. (4.5.1 – 4.5.3). Типичная плотность распределения  $p$  может быть представлена как сумма Гауссовских событий

$$p^I(x) = k \sum_i A_i \exp\left(-\frac{(x-I_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (4.5.1)$$

Здесь

- $k$  нормализационный коэффициент, так чтобы  $\int_0^\infty p^I(x) dx = 1$

- Величины  $I_i$  описывают локальные пики функции  $p^I(x)$ , а  $A_i$  и  $\sigma_i$  задают их амплитуду и отклонение от среднего.

При рассмотрении графиков функций распределений  $F$  и их плотностей  $p$  для размеров пакетов на графиках с Рис. 4.5.4 – 4.5.6 следует отметить достаточно большое количество пакетов малого размера, что приводит к увеличению величины наблюдаемого сетевого джиттера и, следовательно, к ухудшению качества связи.

**Таблица 4.5.2. Статистика RTP пакетов**

IP адрес источника	Порт источника	IP адрес точки назначения	Порт назначения	Протокол	Количество переданных пакетов
193.1.31.232	2334	199.18.183.100	49220	ITU-T G.722	1670
199.18.183.100	49220	193.1.31.232	2326	ITU-T G.722	1661
193.1.31.232	2336	199.18.183.100	49222	Неизвестен (видео пакеты)	2229
193.1.31.232	2338	199.18.183.100	49224	Неизвестен	5
199.18.183.100	49224	193.1.31.232	2330	Неизвестен	10
199.18.183.100	49222	193.1.31.232	2328	H.261	2387

Хочется также привести общую статистику по RTP пакетам, при помощи которых передается аудиовизуальная информация. Эта статистика собрана при помощи фильтров Ethereal на скорости 512 Kbps и приведена в Таблице 4.5.2.

Следует также отметить следующие особенности передачи голосовой информации поверх IP сетей, реализованной в системах видеоконференций стандарта H.323:

- RTP (G.722) пакеты передаются через равные промежутки времени, 40 ms

- Пакеты имеют одинаковый размер, равный 374 байтам, из них 24 байта приходится на UDP заголовок плюс 12 байт на RTP заголовок.

То есть основное отличие от видео потоков, размеры пакетов в которых и промежутки между ними изменяются в широких пределах, состоит в фиксированных значениях этих параметров.

В заключении данного параграфа хотелось бы обсудить вопрос, каким образом стоит моделировать видео поток. Исследования, проведенные в данном параграфе, позволяют ответить на этот вопрос. Во-первых, имитационная последовательность должна состоять из пакетов двух основных размеров: 700 и 1300 байт, расположенных случайным образом. То есть в сгенерированной случайной последовательности из 0 и 1, нулю должен соответствовать пакет в 700 байт, а единице пакет в 1300 байт. Временные промежутки между пакетами также должны меняться случайным образом в пределах межквартильной широты для данной скорости передачи. Причем для вычисления параметров, используемых в аналитической модели, представленной в данной работе изменения межпакетных интервалов не обязательно, достаточно генерировать пакеты разных размеров через равные промежутки времени.

#### 4.6. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате многочисленных экспериментов в глобальной сети нами были получены следующие выражения, позволяющие оценить степень ухудшения качества сигнала вследствие искажения, вызванного прохождением сигнала через глобальную сеть. Для голоса разницу между качеством аудио сигнала в точках передачи и приема можно выразить, как

$$\Delta Q_{MOS}^{voice} = 0.012\sigma(D_{n+1} - D_n) + 0.24p, \quad (4.6.1)$$

где  $\sigma(D_{n+1} - D_n)$  - средне квадратичное значение задержки пакетов,  $p$  - процент потери пакетов. Для нахождения этих параметров можно

использовать специализированные пакеты [77], которые смог выдать точные значения вариации задержки и потерь пакетов. Однако данная процедура может быть предельно упрощена, и эти параметры можно взять из данных обычной утилиты **ping**. Если выполнить эту команду на компьютере под управлением ОС Linux, который расположен в том же сегменте локальной сети, где и точка видеоконференции,

**ping -s 370 [IP адрес другой конечной точки]**

и дать не менее 100 пакетов, то полученные данные можно подставить в формулу (4.6.1) для звука. Сигма численно равна количеству миллисекунд, а  $p$  - процентному значению.

Например, если в результате команды **ping** будет получено средне квадратичное в 40 *ms*, а потери пакетов составят 1%, то качество звука будет ухудшено на 0.72 балла по шкале *MOS*.

Для оценки качества видеоконференции в точке приема видео сигнала применяется более сложное выражение:

$$Q_{MOS}^{video} = 4.5 - 0.015J - 0.008I + 0.00006JI, \quad (4.6.2)$$

где  $J = \sigma(D_{n+1} - D_n) + 0.2p$  - обобщенный параметр, описывающий сетевой фактор. Переменные сигма и  $p$  могут быть вычислены как результат команды

**ping -s 1000 [IP адрес другой конечной точки]**

переменная  $I$  численно равна среднему значению межпакетного интервала  $\mathbb{E}[I_n]$ , данные о котором приведены в Таблице 4.5.1.

В уравнение (4.6.2) для видео, кроме линейных членов включен один дополнительный член второго порядка. Это наиболее важные по физическому смыслу и существенные по вкладу члены.

Ниже хотелось бы дать некоторые пояснения по выражению для оценки качества видео потоков в сети. В процессе обработки сигнала происходит аппаратное преобразование и последующее кодирование непрерывного сигнала в дискретный, что обуславливает снижение качества аппаратного изображения по сравнению с естественным. Поэтому даже при прочих идеальных условиях максимальное значение  $Q_{MOS}$  в уравнении (4.6.2) не превысит 4.5.

При уменьшении скорости передачи качество преобразованного сигнала также должно падать, и этот эффект описывает слагаемое  $-0.008I$

Равные сетевые помехи, описываемые переменной  $J$ , должны ухудшать качество связи, осуществляемой на высоких скоростях, сильнее, чем качество передачи при малых скоростях, поэтому в уравнении (4.6.2) для  $Q_{MOS}$  введен дополнительный член второго порядка  $J^2$ , который учитывает такое поведение.

Для демонстрации нашего подхода рассчитаем ниже оценку качества видео сигнала, который будет получаться на скорости 384 Kbps, если среднее квадратичная вариации задержки равна 60 ms, процент потери пакетов 2%. Параметр  $I$  равен 30, а итоговое качество видео соединения может быть оценено как 2.94, что достаточно критично.

Ввиду отсутствия общепринятых тестов для определения качества по шкале  $MOS$  для видео часть наших оценок достаточно субъективна и должна быть пересчитана после появления общепринятых тестов. Следует также отметить, что значения коэффициентов могут варьироваться для различных типов кодеков в достаточно широких пределах (до 30%) [66]. Приведенные нами значения рассчитаны для кодеков Polusom, но в ближайшем будущем мы планируем составить таблицу универсальных коэффициентов  $Q_{ideal}, \alpha, \beta, \gamma, \delta$  для различных кодеков:

$$Q_{MOS}^{video} = Q_{ideal} - \alpha J - \beta I + \gamma II, \quad J = \sigma(D_{n+1} - D_n) + \delta p \quad (4.6.3)$$

Одним из первых нами будет протестирована система VIPNET [35], созданная в лаборатории мультимедиа технологий Уральского отделения РАН, первый пример российского технологического решения в области высокоскоростной видео связи и телевидения.

Еще одно замечание касается готовности сетевой инфраструктуры для пропуска подобных приложений. Проведенное нашими западными партнерами тестирование, результаты которого представлены в совместном докладе на ежегодной конференции европейских научно-образовательных сетей TERENA 2005 [119], показало, что качество современных трансатлантических каналов приближено к качеству локальных сетей ( $j < 4$  ms,  $p < 1\%$ ,  $D < 50$  ms). Эти параметры достигаются без включения механизмов поддержки QoS (Quality of Service), а значение возможной полосы пропускания, измеренное утилитой **Iperf** достигает 1.05 Mbps. Действительно, проблемы незначительного ухудшения качества связи начинаются со скорости 1024 Kbps.

В России инфраструктура научно-образовательных сетей развита хуже, но, тем не менее, ряд провинциальных регионов, где имеются магистральные узлы сети RBNet, не говоря уже о столицах, готовы к проведению высококачественных конференций. К таким городам относятся, прежде всего, Новосибирск, Екатеринбург, Самара, Ростов, Нижний Новгород, Казань, Ярославль, Челябинск, Краснодар и др. В указанных регионах возможно проведение высококачественных видео конференций на скоростях до 512 Kbps с разрешением до 4CIF без включения механизмов QoS. С появлением сетей DWDM у российских операторов магистральных каналов (Ростелеком, Транстелеком) и развитием инфраструктуры последней мили подобные приложения стали доступными уже сегодня для многих

потребителей сетевых услуг по всей России и, прежде всего, в вышеперечисленных городах.

## **Выводы**

Тестирование исходного сигнала потока, несущего видео информацию, показало, что плотность распределения межпакетных интервалов представляет сумму Гауссовских пиков вершины которых кратны  $10\text{ ms}$  (0, 10, 20, 30, 40  $\text{ms}$  и т.д.).

Передача аудиоинформации достигается с помощью равномерно генерируемых пакетов (через 40  $\text{ms}$ ) равного размера (374  $\text{bytes}$ ).

В данной работе исследовано влияние основных факторов ( сетевого, оборудования и человеческого восприятия) на качество получаемой аудио и визуальной информации.

Как результат наших исследований, получено универсальное выражение, которое позволяет численно определить качество связи по шкале *MOS*. Для кодеков (аудио и видео), применяемых в наиболее распространенных типах оборудования для видео конференций, найдены значения коэффициентов, позволяющих оценить вклад основных переменных, таких как сетевой джиттер, процент потери пакетов, межпакетный интервал исходного сигнала и т.д.

В дальнейшем мы планируем продолжить исследования в двух направлениях, первое касается тестирования различных типов оборудования и описание поведения различных кодеков, в рамках второго направления будет выявляться качество сетевых соединений. Для этого, уже сейчас мы приступили к созданию измерительной инфраструктуры российского сегмента глобальной сети.

## ГЛАВА 5. СИСТЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ ТРАФИКА

Настоящая глава посвящена обсуждению путей повышения эффективности использования каналов, ведущих к вышестоящим интернет сервис провайдерам при помощи систем резервирования трафика (проху cache). Данная статья опирается на опыт Самарской региональной сети для науки и образования, поддерживаемой Самарским государственным аэрокосмическим университетом (СГАУ). В ней обобщены материалы исследований, проведенных автором [16-22, 81, 82] в этой области, а также сведения, полученные со специализированных конференций по web кэшированию и доставке содержательного трафика ([www.iwcw.org](http://www.iwcw.org)) и второго семинара по управлению кэширующими системами европейских научно-исследовательских сетей. Работы по созданию и поддержанию такой системы велись в течение 1998-2001 годов, когда региональная сеть испытывала наибольший дефицит пропускной способности внешнего канала. Указанные системы вне зависимости от аппаратной платформы базируются на ICP (Internet Cache Protocol) протоколе [67, 100]. В начале настоящей главе хотелось бы поделиться опытом по созданию, определению параметров и эксплуатации таких систем. До середины девяностых годов подобный сервис был необязательным, и пользователи могли по собственному желанию подключаться к подобным системам, настраивая свой браузер для работы через проху cache. К концу девяностых практически все крупные провайдеры, как в России, так и за границей, включили подобные системы в собственную инфраструктуру предоставления услуг.

Первоначальные сведения о системе могут быть сведены в подразделы:

- общие сведения
- с чего начать или инсталляция системы
- требования к аппаратной платформе
- создание сети резервирующих серверов
- мониторинг системы,

- математическое описание системы резервирования и отдельных эффектов,  
которые и будут подробно рассмотрены в дальнейшем, но сначала хотелось бы перечислить случаи, когда проху (cache) сервер необходим с технической точки зрения и финансово оправдан:
- Ежемесячный трафик Вашей сети превышает 15 Гбайт. В этом случае ежегодная экономия окупает затраты на приобретение сервера и его обслуживание.
- Исчерпаны технические или финансовые возможности по расширению внешнего канала, а у Вас в запасе есть свободный персональный компьютер
- Планируется организация приемного спутникового канала

По данным исследований сети Fortune1000 [90] среди тех, кто применяет системы резервирования, 54% руководствуется выгодами по экономии потребляемого трафика, 32% отмечают уменьшение времени обслуживания, 25% устанавливают систему по соображениям безопасности, а еще 14% для регулирования доступа сотрудников к глобальной сети.

Дальнейший рост объема передаваемой информации и перезагруженности отдельных сайтов привел к созданию распределенной системы хранения информации (Content Distribution Network - CDNs), также основанной на принципах резервирования информации. Принцип работы таких систем состоит в том, что при обращении к крупным источникам информации, таким как поисковые системы, сервера новостей и т.п., запрос перенаправляется на резервный сервер, имеющий наилучшую связь с пользователем. Подобные коммуникативные схемы также применяются в системах высокопроизводительных распределенных вычислений (grid computing), peer-to-peer системах и в поисковых машинах глобальной сети, работающих по принципу поиска заданных слов или выражений. Более подробно об подобных информационных системах можно прочитать в обзоре [31].

## 5.1. СХЕМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Схематически работу системы резервирования можно представить, как это показано на Рис. 5.1.1. Будет рассматриваться одиночная кэш-система, обслуживающая группу пользователей с целью сохранения и последующей доставки при повторных обращениях информации, получаемой с источников из глобальной сети. Вся информация разбита на порции, называемые документами. Это могут быть HTML страницы, графические объекты и т.п. Часть документов запрашивается неоднократно и поэтому их выгодно хранить в локальной системе резервирования трафика или, по иному, в кэш-системе (cache). Система резервирования обслуживает суммарный поток запросов от группы пользователей; индивидуальное поведение пользователя лежит вне представленной в настоящей работе модели.

Стив Гласман впервые установил [89], что количество запросов (индекс цитирования) документов из глобальной сети подчиняется обобщенному закону Зипфа (Zipf) [128]. Он констатирует, что

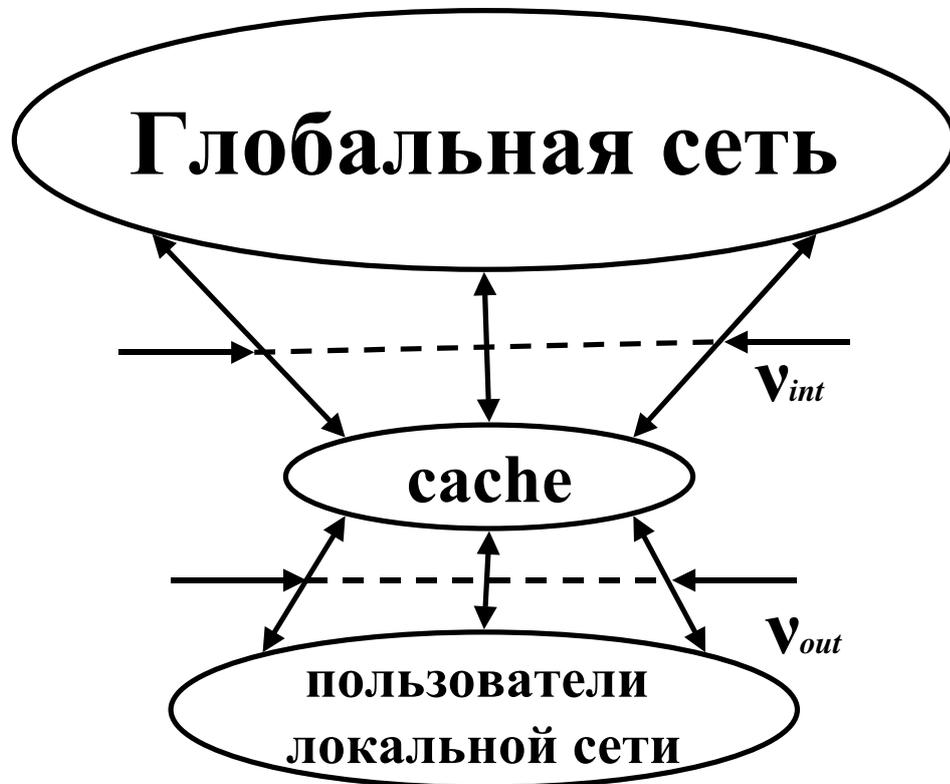
$$g_i = B / i^\alpha, \quad (5.1.1)$$

где  $B$  - количество вызовов наиболее запрашиваемого документа, а  $i$  номер документа в порядке убывания рейтинга цитируемости ( $\alpha$  - положительный показатель степени, меньший единицы, изменяющийся незначительно в зависимости от конкретной системы резервирования).

Здесь мы имеем дело с так называемым ранговым распределением, при построении которого все документы, запрошенные пользователями локальной кэш-системы, располагаются в порядке убывания их индекса цитирования. Универсальная модель системы резервирования, основанная на обобщенном распределении Зипфа, может быть легко обобщена для описания любого процесса, подчиняющегося подобному закону. К приложениям, где подобные процессы играют определяющую роль, следует отнести сети с маршрутизацией содержательного наполнения (Content

Delivery Network) [87, 113], одноранговые сети (peer-to-peer systems) [112, 114], запросы к поисковым Интернет системам и т.п.

**Рис. 5.1.1. Схема резервирования трафика**



### **Инсталляция системы**

Создание работающей системы резервирования трафика сводится к приобретению сервера и инсталляции на нем соответствующего программного обеспечения ICP протокола. После этого сервис необходимо довести до каждого рабочего места. Еще недавно для этого требовалось внести соответствующие настройки в браузер пользователя.

Первый вопрос, который встает перед системным администратором решившим создать систему резервирования трафика, - выбор аппаратной и программной платформ для сервера кэширования. В настоящее время существует множество аппаратных платформ для кэш-систем, в том числе и дорогостоящих специализированных, как семейство CISCO Cache Engine. У нас вопрос о программной и аппаратной платформах, на основе которых

должен быть реализован такой сервис, не стоял. В нашей сети первые маршрутизаторы строились на основе свободно распространяемой и хорошо зарекомендовавшей себя ОС Linux Slackware, которая была рекомендована нам в рамках проекта INTAS по построению единой Европейской математической сети. На основе ее до сих пор решается ряд задач по динамической маршрутизации (протоколы BGP-4, OSPF, RIP), а также функционируют практически все службы Internet (DNS, www, ftp, mail, news, проху servers, database for dial-up, etc).

Хотелось бы выделить один существенный момент в процессе инсталляции, позволяющий обойтись без посещения рабочих мест при помощи настроек внешнего маршрутизатора сети. Если используется CISCO семейства 26xx или выше, то можно принудительно завернуть весь http и ftp трафик на cache (проху) сервер. Для нашей сети эти два вида трафика составляли 98% в 2001 году ( 90% и 8% соответственно). Для маршрутизаторов семейства CISCO есть две возможности для перенаправления трафика на прокси-сервер:

- Первая (устаревшая) - использовать возможности IOS по условной маршрутизации. При этом на маршрутизаторе прописывается логическое правило по которому весь трафик, предназначенный для TCP порта 80 (20), который является выделенным для передачи данных по HTTP протоколу, направляется на определенный IP адрес, который является адресом cache (проху) сервера.
- Вторая возможность по перенаправлению - использовать возможности IOS по поддержке протокола WCCP (Web Cache Communication Protocol). Протокол WCCP разработан фирмой CISCO для обмена данными между маршрутизаторами и аппаратными cache-серверами CISCO. К сожалению, использование этой возможности ограничено лицензионными правами на протокол и версией IOS. Сейчас возможно использовать протокол WCCP-1.0 с серверами на базе свободно распространяемого программного продукта Squid версии 2.3 и выше.

В нашей сети в качестве платформы используется двухпроцессорный сервер под управлением операционной системы Linux Slackware. Выбор операционной системы, равно как и Squid версии 2.2.STABLE5 в качестве прокси сервера, продиктовано как их простотой и надежностью, так и лицензионными условиями их использования. Совершенно ясно, что дисковая система должна использовать стандарт SCSI, желательно с RAID. Это обусловлено также и тем, что жесткие требования предъявляются к сбоям в работе такой системы, приводящим к потере управляемостью сохраненной информацией.

### **Параметры кэш-сервера**

В этом разделе хотелось бы сосредоточиться на оптимальном выборе общих для различных аппаратных платформ параметров, таких как объем кэширующейся информации, оперативная память, производительность системы, а также важнейших опций программного обеспечения.

Экспериментальные и теоретические исследования позволили построить статическую [69] и динамическую [126] модели. Для более точной динамической модели, учитывающей обновление документов в глобальной сети, предельная производительность системы резервирования трафика (hit ratio,  $H$ ) может достигать 40% от числа запрошенных документов и 20% от объема запрашиваемой информации (byte hit ratio,  $H_R$ ). Кроме того, можно говорить о степенной зависимости эффективности от размера системы, как это показано в параграфах 5.5 и 5.7:

$$H \sim S^{1-\alpha} \quad (5.1.2)$$

При увеличении объема сохраняемой информации наступает момент, когда дальнейшее расширение размера cache сервера нецелесообразно. Нами установлено [16], что для достижения системой резервирования эффективности равной 35%, временной параметр  $\tau$ , определяющий размер системы резервирования, должен превысить определенное значение. Этот параметр

$$\tau = \frac{S_{eff}}{Q_{int}} \quad (5.1.3)$$

представляет собой отношение объема кэша  $S_{eff}$  к скорости внешнего канала  $Q_{int}$ , используемой системой. Его величина может быть оценена как неделя для кэш-системы произвольного размера. Следует отметить, что ширина внешнего канала представляет текущую скорость потока, состоящего из всех обращений к www и ftp серверам, а не формальную внешнюю скорость. Она может быть определена экспериментально, как это показано в разделе, посвященном мониторингу системы.

Следующий важный параметр настройки Squid представляет собой время хранения информации в системе - reference-age. Он жестко связан с  $\tau$  из уравнения (5.1.1), а именно должен быть приблизительно в четыре раза больше, поэтому разумно принять его равным одному месяцу. Это время необходимое для полной оптимизации информации, содержащейся в системе резервирования.

Следует также помнить, что на обслуживание одного запроса к серверу на базе PC используется приблизительно 1 Мб оперативной памяти так что, анализируя структуру запросов, Вы легко можете легко определить и этот параметр. Но общие соображения подсказывают, что начинать надо с 512 Мбайт. О том, как точно определить эффективные размеры оперативной памяти и жесткого диска, подробно рассказано в разделе, посвященном мониторингу системы.

### **Иерархическая структура**

В настоящее время создание собственного сервера или системы кэширования, не привязанной к соответствующей сетевой ISP инфраструктуре малоэффективно, поэтому необходимо сразу продумать иерархические связи. В любом случае можно выделить три структурных уровня системы:

- верхний уровень, связанный с cache-сервером вышестоящего ISP. Он не должен хранить информацию, доступную внутри собственной зоны маршрутизации. Для нас этот уровень представляют общероссийские кэширующие сервера ассоциации РЕЛАРН (cache1.relarn.ru, cache1.rbnet.ru), предназначенные для дублирования информации зарубежных сетей. Эта ассоциация объединяет научно-образовательные сети России, базируется в Москве на базе РосНИИРОС.
- Базовый уровень, объединяющий сервера ISP, с которыми имеется независимая маршрутизация. При этом одно из важных условий - свободный обмен внутренним трафиком между сетями. У нас подобная система объединяет кэш-сервера региональных ISP и базируется на региональной точке обмена трафиком - Samara-IX.
- внутрисетевой уровень, сервера которого используют наш кэш как вышестоящий.

Эта структура предусматривает подчиненные (parent) отношения для обмена между серверами различных уровней иерархии и равноправные (sibling) для взаимоотношений внутри одного иерархического звена. Однако это правило неприменимо, если средняя загрузка канала между подчиненными (parent cache) превысит 40%. Если нагрузка сети больше, то лучше воспользоваться равноправными взаимоотношениями.

Согласно нашим экспериментальным данным отношения между серверами различных иерархических уровней наиболее эффективны и могут повысить hit ratio на нескольких процентах. Следует отметить, что выигрыш от обмена между серверами равных размеров достаточно невелик и не превышает нескольких десятых долей процента, а вот время ожидания ответа от кэш-системы возрастает значительно. Поэтому необходимо ограничить двумя, максимум тремя, число партнеров на базовом уровне, или вообще отказаться от таких связей.

Важная роль иерархии состоит в предотвращении петлевых структур. Например, в немецкой научно-образовательной сети DFN неконтролируемое расширение межсерверных связей привело к неработоспособности иерархии в первую же неделю внедрения cache.

### **Мониторинг**

Программное обеспечение ICP протокола предусматривает множество параметров настройки, о важнейших из которых было упомянуто выше. Поэтому для получения наибольшей результативности от cache системы, необходимо получать статистическую информацию, желательно с ее графическим представлением. Существует множество специализированных программ отслеживающих эффективность cache сервера, например, DePStat, NLARN scripts , Access-times, Calamaris и другие. В нашей сети используется Calamaris, а также MRTG для графического представления параметров. В принципе, статистика способна удовлетворить любой самый изысканный запрос, но здесь хотелось бы остановиться только на определении критических параметров, упомянутых в разделе Параметры cache сервера.

MRTG - Multi Router Traffic Grapher. Программа создана и поддерживается группой добровольных авторов. Первоначально была создана специалистами электротехнического факультета Швейцарского федерального института технологий (Department of Electrical Engineering at the Swiss Federal Institute of Technology). MRTG позволяет определить дневные изменения для количества клиентских запросов к серверу. По этому показателю легко определяется объем требуемой оперативной памяти (не менее 256 Мб для нашей сети). Для удобства администратора усреднение MRTG ведется поминутно, так как среднее время запроса к серверу составляет десятки секунд.

Эффективность по количеству запросов (hit ratio) показывает еще две величины:

- абсолютное количество запросов, обслуженных из резервирующей системы (Hits).

- процент эффективности кэш-сервера.

Однако многие параметры, в том числе и эффективность, лучше получать с помощью Calamaris. В первую очередь это касается числа уникальных хостов - пользователей системы и запрошенных ею, эффективности по числу запросов и по трафику. Для нашей сети последние два показателя составляли соответственно 36% и 16%, что достаточно значимо. Обычно статистика обрабатывается ежемесячно и можно легко определить трафик, прошедший через систему за неделю, а по нему и оптимальный размер системы резервирования.

Система очень чувствительна к параметрам настройки, особенно размеру. Например, кэш-система испанской научно-образовательной сети, занизив время хранения информации до нескольких часов и размер системы до полусуточного трафика, имела эффективность в районе 6%. В процессе подготовки этой статьи мы увеличили размер нашей системы до 4 Гб, и результат сразу не замедлил сказаться - показатели эффективности повысились до 36% [17].

При последующем анализе данных Calamaris сразу бросается в глаза следующий факт: российский трафик домена RU составляет порядка 55-60% от общего объема, 25-30% это домен COM и около 10% - NET. В зарубежных сетях только в Германии внутренняя составляющая достигает 40%.

В заключение хотелось бы отметить, что подобная система необходима, прежде всего, провайдерам и крупным потребителям услуг сети. Ее применение финансово оправдано, так как при правильно решенных технических проблемах возможно удешевление внешнего трафика на 10-15% и соответствующее повышение скорости работы в сети.

## **5.2. ПАРАМЕТРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОПИСАНИИ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ТРАФИКА**

Для того чтобы понять работу системы резервирования трафика необходимо построить ее аналитическую модель. Подобная модель должна включать

описание для следующих параметров: размер системы, производительность системы (hit ratio), среднее время жизни документа, время задержки запроса, а также методика определения их оптимальных величин. Впервые подобная модель была описана в работе Бреслау и др. [69].

В этом разделе будут определены переменные, используемые для описания кэширующих систем, и проанализированы основные подходы и термины, лежащие в основе соответствующих моделей.

На Рис. 5.1.1 приведена схема системы резервирования трафика, обслуживающей суммарный поток запросов от группы пользователей. Скорость, с которой данные поступают в кэш-систему из глобальной сети, обозначим как  $v_{int}$ . Скорость передачи информации от кэш-системы к пользователям равна  $v_{out}$ .

Предположим, что коллективный пользователь запросит из глобальной сети  $K$  ( $K \gg 1$ ) документов за время  $t$ , и  $L$  из этих документов будут уникальными.

В предыдущем параграфе уже упоминалось, что ранжированный по индексу цитирования список будет подчиняться обобщенному закону Зипфа (5.1.1) [128]. Часто этот закон формулируют для относительной вероятности  $p_i$  запросить  $i$  по популярности документ

$$p_i = A / i^\alpha, \quad (5.2.1)$$

где  $A$  – нормировочная постоянная, которая выбирается таким образом, чтобы

$$\sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (5.2.2)$$

сумма всех вероятностей  $p_i$  была равна 1.

Поскольку распределение  $p_i$  ( $\mathcal{G}_i$ ) дискретное, согласно закону Зипфа, то достаточно большое количество документов будет запрошено только один

раз. Разделим все документа на два непересекающихся множества: популярных и непопулярных документов. К популярным документам отнесены те, которые запрошены как минимум дважды. Количество популярных документов обозначим как  $M$  ( $0 \leq M \leq L$ ).

HTTP [109] и другие коммуникационные протоколы отмечают некоторые ответы на запросы, как нерезервируемые. Подобные отклики перенаправляются непосредственно пользователю и не могут быть сохранены в системе резервирования, для того чтобы обслужить последующие запросы. Обозначим  $P_c$  долю документов, пригодных для резервирования.

Успешное обращение “hit” случается, когда клиентский запрос обслуживается из кэш-сервера, без контакта с оригинальным источником в глобальной сети. Доля успешных обращений называется производительностью системы по количеству документов (Document Hit Ratio). Точно так же доля данных в байтах, полученных из кэш памяти, называется байт производительностью системы резервирования (Byte Hit Ratio). В данной работе моделируется поведение производительность системы по количеству документов.

Максимальная или идеальная производительность достигается, когда объем системы резервирования не ограничен и определяется только свойствами потока запросов от пользователей. Она может быть вычислена, как отношение числа повторных запросов ( $k - L$ ) к их общему количеству  $K$  :

$$H_{\max} = \frac{K - L}{K} \quad (5.2.3)$$

Реальная система резервирования имеет ограниченный объем и не может сохранить все повторно запрашиваемые документы. Реальная производительность  $H_{real}(H)$  зависит от администрирования кэш системы и политики заполнения. Сравнивая производительность реальной и

идеальной системы резервирования можно ввести понятие эффективности кэширования:

$$E_H = \frac{H_{real}}{H_{max}} \quad (5.2.4)$$

Данные об основных переменных и их описание сведены в следующую Таблицу:

**Таблица 5.2.1. Основные переменные**

Переменная	Описание	Источник
$K$	Число документов, запрошенных системой резервирования	Наблюдение
$\alpha$	Показатель экспоненты обобщенного распределения Зипфа	Наблюдение
$A$	Нормировочная постоянная обобщенного распределения Зипфа	Ур-ние 5.2.1
$P_i$	Вероятность запроса для $i$ популярного документа	Ур-ние 5.2.2
$L$	Число уникальных документов, запрошенных системой резервирования	Рис. 5.3.1
$M$	Количество популярных документов	Рис. 5.3.1
$P_c$	Доля документов, пригодных для резервирования	Наблюдение
$\mathcal{G}_{int}$	Скорость потока из запрашиваемых документов	Рис. 5.1.1
$H_{max}$	Максимальная производительность системы	Ур-ние 5.2.3
$H_{real}$	Реальная производительность системы	Наблюдение
$E_H$	Эффективность	Ур-ние 5.2.4

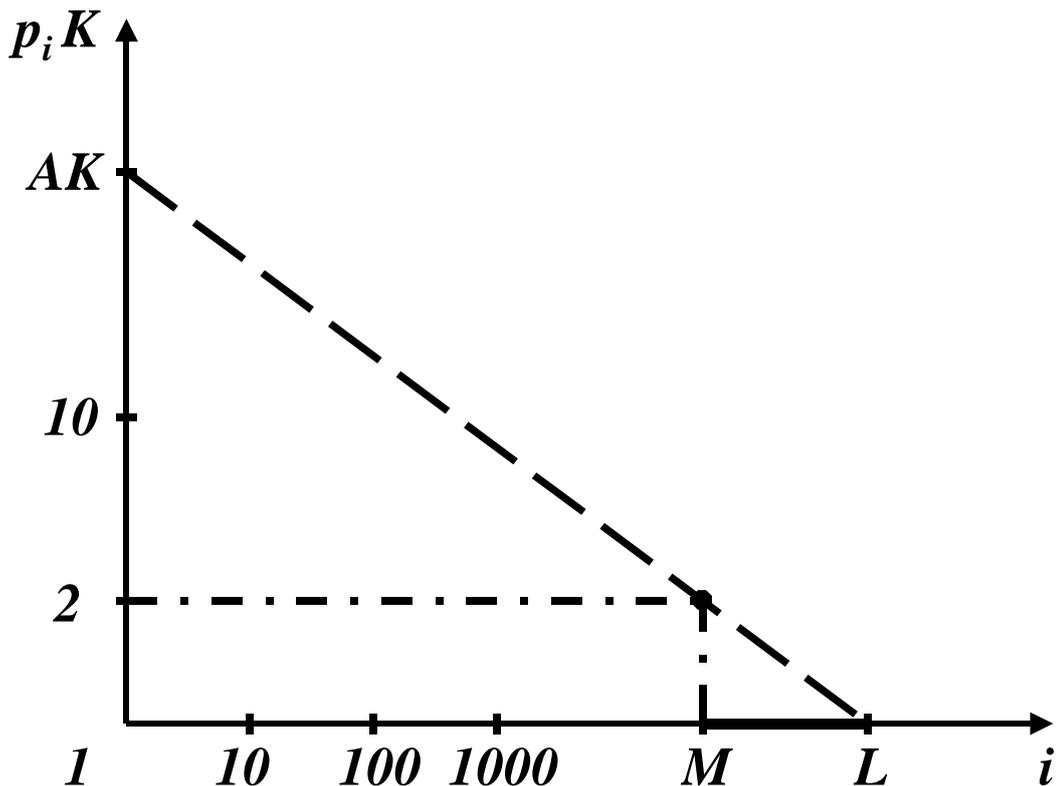
### 5.3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТОЧКИ ОБОБЩЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗИПФА

Два типа соотношений могут претендовать на роль фундаментальных законов, описывающих поведение систем резервирования:

- Обобщенный закон Зипфа, см. уравнение (5.2.1)
- Нормировочные соотношения, пример которого приведен как уравнение (5.2.2)

Оба этих закона применимы к любым точкам графического представления обобщенного закона Зипфа, как это показано на Рис. 5.3.1.

Рис. 5.3.1. Особые точки распределения Зипфа



Для построения аналитической модели будут использованы две особые точки с координатами  $(M, 2)$  и  $(L, 1)$ . Обобщенный закон Зипфа, записанный для каждой из этих точек имеет вид:

$$\frac{AK}{M^\alpha} = 2, \quad (5.3.1)$$

$$\frac{AK}{L^\alpha} = 1 \quad (5.3.2)$$

Нормировочное условие для точки  $(M, 2)$  дает:

$$\int_1^M \frac{A}{x^\alpha} dx = H_{\max} \quad (5.3.3)$$

Это выражение для  $H_{\max}$  представляет собой альтернативное определение максимальной производительности из уравнения (5.2.3). Для реальных систем

$$H = \int_1^{S_k} \frac{A}{x^\alpha} dx, \quad (5.3.4)$$

где  $S_k$  число документов в описываемой системе резервирования.

Система из четырех уравнений (5.3.1)-(5.3.4) позволяет найти базовые решения, описывающие основные эффекты и взаимозависимости параметров и т.д., таким образом, описывает поведение прокси-сервера. Модификация этой системы и внесение в нее поправок позволяет описать различные эффекты более высокого порядка.

Например, для системы, состоящей из уравнений (5.3.1) и (5.3.3), может быть записано следующее решение

$$M = \frac{(1-\alpha)H_{\max} K}{2}, \quad (5.3.5)$$

которое говорит о том, что для реальных потоков запросов с  $\alpha = 0.8$  и  $H_{\max} = 0.45$  только каждый пятнадцатый документ должен быть сохранен в кэш-системе [82].

#### 5.4. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

В этом параграфе будет очерчена архитектура системы резервирования, которая отражает основные законы для таких систем, приведенные в предыдущем параграфе. Дизайн первых кэш-систем создавался в то время, когда ключевые характеристики трафика еще не были исследованы. Он во многом повторял алгоритмы и архитектуру резервирования для процессов в базах данных и операционных системах. Первоначальные алгоритмы были позднее уточнены, чтобы улучшить производительность и учесть природу потока запросов, определяемых обобщенным законом Зипфа. Однако эти усилия были ограничены первоначальным дизайном.

Однако в любом случае можно выделить три основных элемента системы резервирования:

- Ядро или область хранения популярных документов. Этот раздел включает все документы, запрошенные, по меньшей мере, дважды. Документ переходит в ядро из вспомогательной части. Описанной ниже. Этот раздел содержит  $S_k$  документов ( $S_k \leq M$ ).
- Вспомогательная часть или область хранения непопулярных документов. Этот раздел содержит документы, запрошенные из глобальной сети только один раз. Объект сохраняется в данном разделе после запроса его клиентом. В случае повторного запроса он направляется в ядро. Этот раздел содержит  $S_u$ , ( $S_u \leq L - M$ ) документов.
- Информационный раздел содержит статистику последних запросах, требующуюся для алгоритмов резервирования.

Когда объем системы резервирования неограничен, то обе величины  $S_k$  и  $S_u$  достигают своих максимальных значений, для отношения которых справедливо следующее уравнение

$$\frac{S_k}{S_u} = \frac{M}{L-M} \quad (5.4.1)$$

Уравнения (5.3.1) и (5.3.2) могут быть применены, для того чтобы выразить это соотношение через параметры обобщенного распределения Зипфа

$$\frac{S_k}{S_u} = \frac{1}{L/M - 1} = \frac{1}{2^{1/\alpha} - 1} \quad (5.4.2)$$

Это отношение определяет связь между разделами системы резервирования для неограниченного размера системы резервирования, при условии единой политики замещения для ядра и вспомогательной части

Можно также найти это соотношения для реальной системы резервирования с ограниченным объемом документов. Анализируя *log* файлы реальных систем можно вычислить время пребывания в кэш системе непопулярных документов  $t_u$ . Подобная статистика также определяет время  $T_{eff}$  для популярных документов, запрошенных дважды. То есть для таких документов, что были запрошены из глобальной сети и сохранены в локальной кэш системе, затем повторно были востребованы пользователем из нее и впоследствии удаленных в соответствии с политикой замещения.

Легко видеть, что число объектов в ядре системы  $S_k$  совпадает с величиной  $M(T_{eff})$ , то есть при сборе и анализе статистики за время  $T_{eff}$  число популярных документов будет равно размеру ядра. Аналогично  $S_u$  зависит от  $L, M, t_u$

$$\begin{aligned} S_k &= M(T_{eff}), \\ S_u &= L(t_u) - M(t_u). \end{aligned} \quad (5.4.3)$$

Тогда,

$$\frac{S_k}{S_u} = \frac{T_{eff}}{(2^{1/\alpha} - 1)t_u} \quad (5.4.4)$$

Анализируя *log* файлы системы резервирования Самарского государственного аэрокосмического университета, как это описано в параграфе 5.7, было найдено, что обе эти величины прямо пропорциональны относительному размеру системы резервирования  $S/\mathcal{G}_{int}$  и могут рассматриваться как совпадающие величины:

$$T_{eff} \approx t_u \quad (5.4.5)$$

Другими словами, отношение ядра и вспомогательной части может быть оценено как 1:2, или только 40% от выделенной емкости используется для резервирования популярных документов.

## 5.5. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В этом параграфе будет исследоваться предельная производительность (steady state) статических схем резервирования в глобальной сети, которые предполагают, что новые документы в глобальной сети не возникают, а существующие документы никогда не претерпевают изменений. Модель, предложенная Вольманом и др., предполагает, что размер кэш системы не ограничен и все документы, пригодные для резервирования могут быть сохранены в ней. С учетом этого предположения, они считали, что предельная производительность может достигать 100%.

Как это показано на Рис. 5.3.1, иллюстрирующем обобщенное распределение Зипфа, значительная часть документов  $(L - M)$ , даже пригодных для резервирования, запрашивается из глобальной сети только один раз. Это явление должно быть учтено при вычислении удельной производительности

$$H_{\max}$$

$$H_{\max} \leq \frac{K-(L-M)}{K} = 1 - \frac{L-M}{K} \quad (5.5.1)$$

Эта оценка дает значение в 80% для данных, приведенных в параграфе 5.6.

Другое выражение для  $H_{\max}$  может быть найдено делением правых и левых частей уравнений (5.2.2) и (5.3.3), что дает

$$H_{\max} = \left( \frac{M}{L} \right)^{1-\alpha} \quad (5.5.2)$$

С помощью уравнений (5.3.1) и (5.3.2) последнее условие может быть приведено к

$$H_{\max} \leq 2^{(\alpha-1)/\alpha} \quad (5.5.3)$$

Это выражение позволяет оценить предельную производительность в 75% для  $\alpha=0.7$ , что представляется допустимым для реальных систем резервирования.

Отдельное внимание хотелось бы уделить вопросу, как изменяется производительность системы резервирования с ростом объема, выделяемого для хранения информации. Ряд исследователей [58, 69, 72] предполагали, что зависимость носит логарифмический характер (log-like fashion). Однако, выражение (5.3.2) для производительности кэш-системы дает следующую зависимость

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{1-\alpha}, \quad (5.5.4)$$

что позволяет говорить о степенной зависимости.

## 5.6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБРАБОТКА

Для экспериментальной проверки представленной в настоящей работе модели требуется несколько серий тестов. Во время первой серии тестов изменялся размер системы резервирования. При не изменяющемся потоке

запросов от пользователей системы он соответствовал однодневному, двухдневному, трех и шестидневному трафику. Статистика обращений к кэш серверу обрабатывалась, и вычислялись параметры, используемые при построении аналитической модели. К ним относятся производительность системы  $H$ , показатель степени обобщенного распределения Зипфа  $\alpha$ , а также временные параметры  $t_u$  и  $T_{eff}$ , представляющие время хранения в кэш системе популярных и непопулярных документов соответственно. Также были найдены некоторые другие величины, такие как доля документов, пригодных к резервированию  $p_c$ , средний размер документов, запрошенных из глобальной сети  $E(S)$  и средний размер документа в кэш-системе  $E(C)$ . Это было сделано для того, чтобы сравнить наши результаты с результатами других исследователей [59, 69, 126]. Результаты сопоставимы и это сравнение подтвердило правильность наших методик обработки данных.

Для экспериментов была выбрана сеть Самарского государственного аэрокосмического университета, а сами эксперименты проводились в течении девяти месяцев в 2000 и 2001 году. Прокси кэш был инсталлирован на базе двухпроцессорного сервера с программным обеспечением SQUID. Все иерархические связи между кэш системами были отключены, а время сбора статистики  $T_{st}$  для каждого размера системы не было менее месяца.

Исходные результаты собраны в Таблицу 5.6.1, где используются следующие обозначения и сокращения:

- Переменные  $\mathcal{G}_{out}$  и  $\mathcal{G}_{int}$  обозначают скорость входящего и исходящего потока запросов к системе резервирования как это показано на Рис.5.1.1. Единицей измерения для этих величин является число запросов в день.
- $H$  обозначает производительность (hit ratio) системы резервирования.

- Вышеупомянутые переменные ( $\mathcal{G}_{int}^B$ ,  $\mathcal{G}_{out}^B$ ,  $H^B$ ) с верхним индексом  $B$  описывают систему, используя величину переданного трафика (Kbps – Kbit per second).
- $E(S)$  означает средний размер документа, запрошенного непосредственно из глобальной сети.
- $E(C)$  есть средний размер документа в системе резервирования
- $T_{st}$  соответствует количеству дней периода, в течении которого собиралась статистика.

**Таблица 5.6.1. Исходные результаты**

$S / \mathcal{G}_{int}$ дней	$\mathcal{G}_{out}$ $\times 10^3$ запросов в день	$\mathcal{G}_{int}$ $\times 10^3$ запросов в день	$H$ %	$\mathcal{G}_{out}^B$ bps	$\mathcal{G}_{int}^B$ Kbps	$H^B$ %	$E(S)$ Kbyte	$E(C)$ Kbyte	$T_{st}$ дне й
1.0	56.5	42.5	24.4	42.6	38.6	9.13	8.13	10.5	31
2.15	53.4	39.5	28.0	44.1	40.3	10.3	8.9	12.5	28
3.15	69.8	47.3	32.1	46.8	41.5	11.1	7.25	13.7	31
5.96	69.8	42.3	36.7	56.3	50.2	10.7	8.71	13.8	61

Собранная статистика в формате, представленном в SQUID, обрабатывалась скриптами, специально написанными для нашей задачи. В первую очередь из общего списка выбирались документы, пригодные для резервирования, и каждому из них сопоставлялось количество запросов. Затем из этих документов составлялся ранжированный список, в котором документы располагались в порядке убывания их индекса цитирования. Фрагмент ранжированного списка, представляющий обобщенное распределение Зипфа представлен ниже:

112 <http://www.ixbt.com/images/empty.gif> | ine 457

111 <http://cacheserver.myecom.net/main/images/adlogo.jpg> line 458

.		
.		
2	<a href="http://zzz.net.ru/images/spacer.gif">http://zzz.net.ru/images/spacer.gif</a>	line 78166= $M$
.		
1	<a href="http://www.muz-tv.ru/chat/chat-top.html">http://www.muz-tv.ru/chat/chat-top.html</a>	line 200045

Число записей (строк) в этом списке совпадает с числом уникальных документов и равно  $L$ . Номер строки последнего популярного документа, который был запрошен из глобальной сети дважды, есть  $M$ .

В этом параграфе также хотелось обсудить вопрос о поиске выражения для экспериментального нахождения  $\alpha$ . Имеется, по меньшей мере, три способа вычисления величины  $\alpha$ , используя макроскопические переменные из Таблиц 5.6.1 и 5.6.2. Первый из этих способов опирается на уравнение (5.4.2):

$$L = 2^{1/\alpha_1} \quad (5.6.1)$$

Простое соотношение между  $\alpha$ ,  $K$  и  $L$  получается как решение системы уравнений (5.3.2) и (5.2.2):

$$L = \frac{K}{1-\alpha_2} \quad (5.6.2)$$

третье соотношение приведено в уравнении (5.3.5).

Следует отметить, что эти три способа дают различные значения для величины  $\alpha$

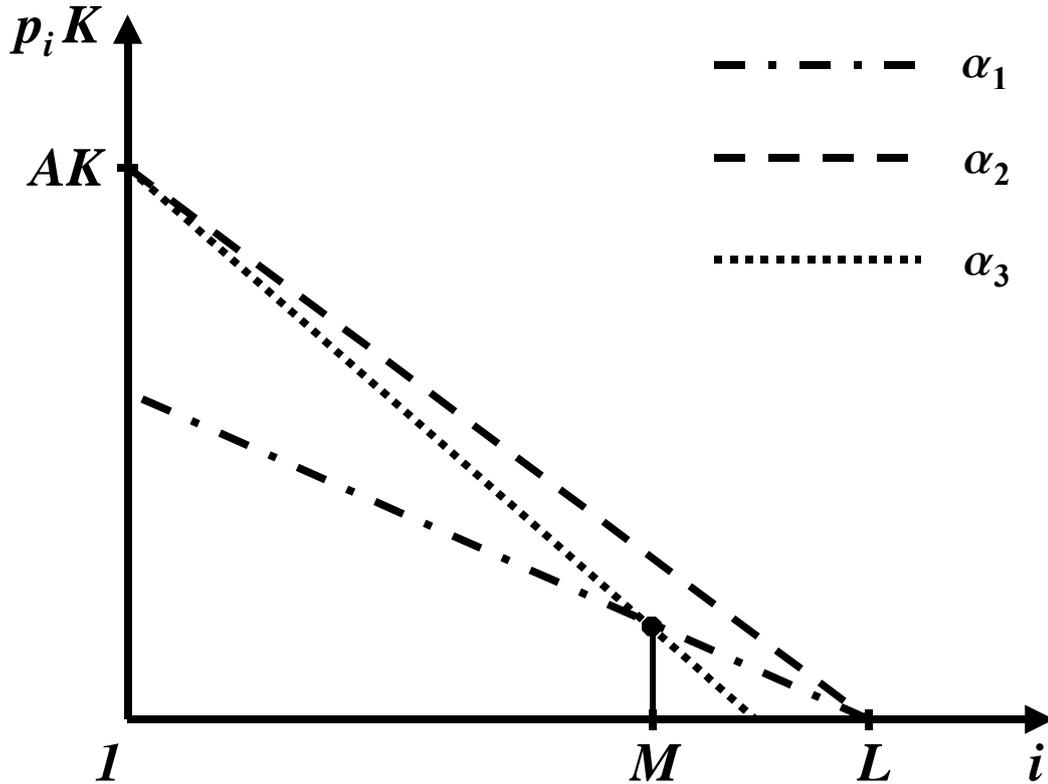
$$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \quad (5.6.3)$$

Разница в значениях составляет порядка 0.04-0.05 и может быть объяснена графически, как это показано на Рис. 5.6.1.

Прямая, соответствующая обобщенному распределению Зипфа с показателем  $\alpha_1$ , проходит через точки с координатами  $(M, 2)$  и  $(L, 1)$ ,  $\alpha_2$  через точки  $(1, AK)$  и  $(L, 1)$ , а  $\alpha_3$  через  $(1, AK)$  и  $(M, 2)$  соответственно.

Как правило, для последующих вычислений будет использоваться значение

$$\alpha = 1 - 2M / K \quad (5.6.4)$$

Рис. 5.6.1. Возможные значения параметра  $\alpha$ 

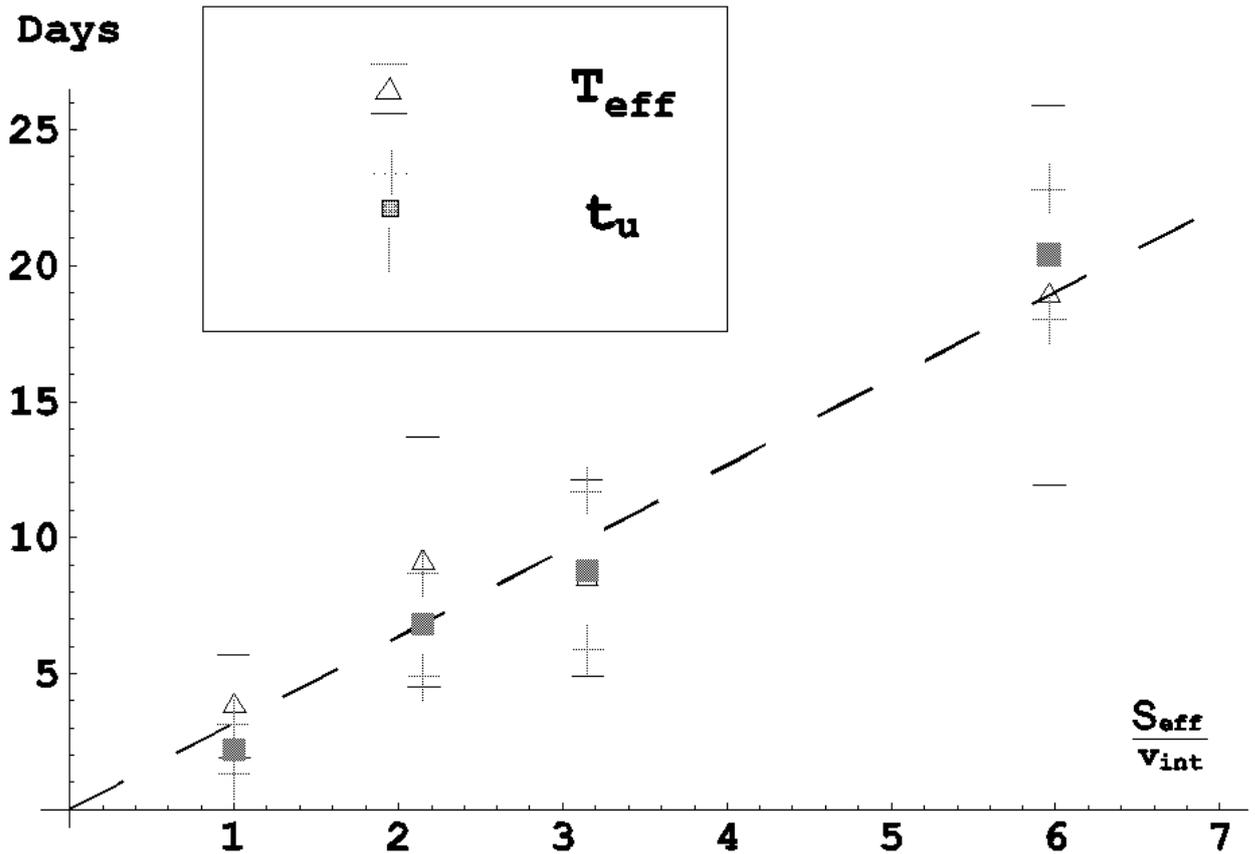
Наконец, можно свести все значения переменных, описывающих поведение системы резервирования в отдельную таблицу:

**Таблица 5.6.1. Параметры, описывающие поведение системы резервирования**

$S / \mathcal{Q}_{\text{int}}$ дней	$S$ $\times 10^5$	$\alpha$	$t_u$ дней	$T_{\text{eff}}$ дней	$p_c$	$M$ $\times 10^5$	$L$ $\times 10^5$	$K$ $\times 10^5$
1.0	0.42	0.76	$2.2 \pm 0.9$	$3.8 \pm 1.9$	0.59	0.99	3.10	10.4
2.15	0.86	0.77	$6.8 \pm 1.9$	$9.1 \pm 4.6$	0.58	0.78	2.48	8.7
3.15	1.49	0.74	$8.8 \pm 2.9$	$8.5 \pm 3.6$	0.56	1.22	3.68	12.0
5.96	2.53	0.81	$20.4 \pm 2.4$	$18.9 \pm 7.0$	0.59	2.01	6.07	25.0

## 5.7. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМЫ

Рисунок 5.7.1. Зависимость времен жизни популярных и непопулярных документов от размера системы



Первое семейство кривых, которое будет проанализировано в этом параграфе, представляет собой зависимость времен жизни в системе резервирования популярных и непопулярных документов  $t_u$ ,  $T_{eff}$  от относительного размера системы  $S/G_{int}$ . Эта зависимость показана на графике с Рис. 5.7.1. Относительный размер системы в днях отложен на оси абсцисс, а времена жизни с доверительными интервалами на оси ординат. Легко видеть, что штрихованная прямая лежит внутри всех доверительных интервалов и, таким образом, описывает зависимость времен жизни популярных и непопулярных документов от размера системы.

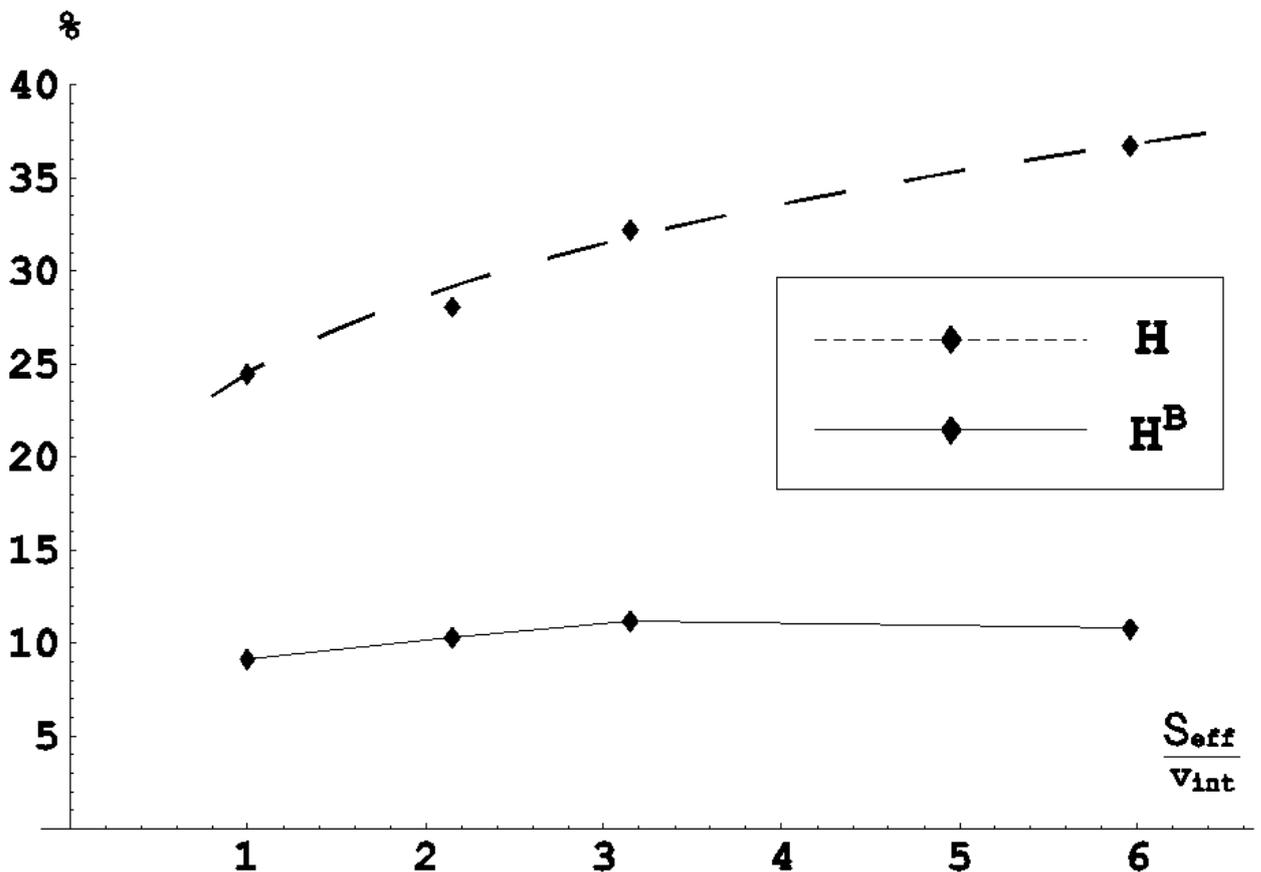
Как было показано в параграфе 5.4 отношение между параметрами  $t_u$  и  $T_{eff}$  определяет зависимость между конструктивными элементами (ядром и вспомогательной частью) системы резервирования.

Анализ данных, представленных в Таблице 5.6.2 и графике 5.7.1 показывает, что значения переменных  $t_u$  и  $T_{eff}$  растут прямо пропорционально размеру системы и, кроме этого, они могут рассматриваться как совпадающие величины:

$$T_{eff} \approx t_u \quad (5.7.1)$$

Это отношение не зависит от алгоритма резервирования и справедливо при применении наиболее популярных способов замещения (LRU, LFU, GD и т.д.). Поэтому желательно создание такого алгоритма, который бы приводил к опережающему росту среднего времени хранения в системе популярных документов  $T_{eff}$  по сравнению с  $t_u$ .

**Рисунок 5.7.2. Зависимость производительности от размера кэш**



Единственной областью, где можно говорить об эффективности замещения документов в кэш, является область малых размеров системы.

Вторым семейством кривых, которое должно быть изучено, является зависимость производительности системы  $H$ ,  $H^B$  от ее относительного размера  $S/\mathcal{G}_{\text{int}}$ , которая показана на графике с Рис. 5.7.2.

Модель, представленная в этой работе говорит о степенном характере зависимости, в то время как прежде считалось, что такая зависимость носит логарифмический характер, как это обсуждалось в параграфе 5.5.

Верхняя кривая, построенная на графике 5.7.2, отвечает значению  $\alpha$  равному 0.77. Этот факт позволяет также подтвердить правильность выбора способа измерения  $\alpha$ , определяемому уравнением (5.6.4). Из всех трех способов нахождения показателя степени обобщенного распределения Зипфа  $\alpha$ , представленных в предыдущем параграфе, этот способ дает наиболее достоверный результат.

## **5.8. АЛГОРИТМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ НА БАЗЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗИПФА**

Главный результат любого исследования кэш систем должен заключаться в нахождении способов повышения их эффективности.

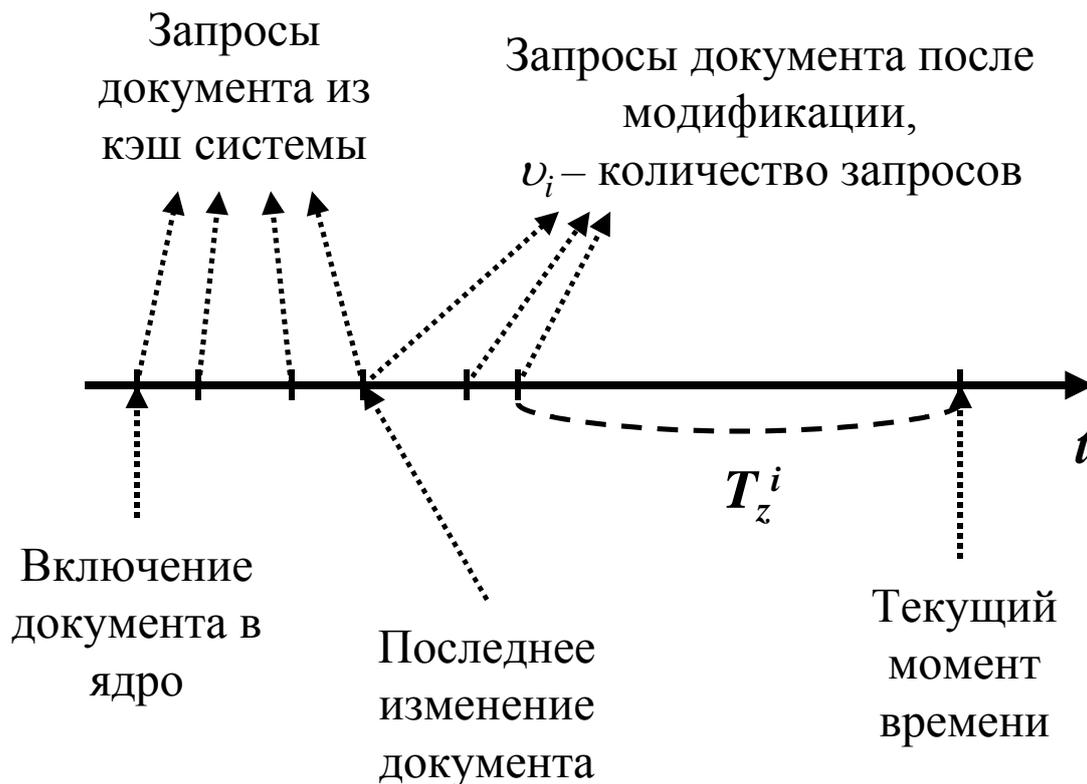
Проведенное в этой главе исследование существующих алгоритмов резервирования установило следующие недостатки:

1. Фиксированное отношение  $S_k/S_u$ , которое предполагает использование для хранения популярных документов только 40% от выделенного для этой цели пространства
2. Это отношение является следствием того, что и для популярных и для непопулярных документов используется одна и та же политика замещения.

Новая архитектура кэш системы устраняет эти недостатки. Ключевые принципы новой архитектуры следующие:

1. Структура системы резервирования содержит три основных элемента (ядро, вспомогательная часть и информационный раздел). Их доля в общем объеме жестко фиксируется в отношении 70:20:10.
2. Алгоритм резервирования информации для каждого раздела выбирается независимо. Например, для ядра может быть введена метрическая функция на основе распределения Зипфа.
3. Информационный раздел представляет собой отдельную часть. Время хранения статистики превышает время хранения популярных документов  $T_{eff}$ . То есть в этом разделе в течение длительного времени сохраняется информация об удаленных документах.

**Рисунок 5.8.1. Параметры, включенные в метрическую функцию**



Политика резервирования также может быть сведена к нескольким простым утверждениям. Для вспомогательной части эти утверждения могут быть сформулированы следующим образом:

1. После первого запроса из глобальной сети документ сохраняется во вспомогательной части
2. Документ удаляется из вспомогательной части
  - Когда он перемещается в ядро после повторного запроса
  - В случае переполнения раздела удаляется документ с наибольшим временем хранения.

Политика резервирования для ядра кэш системы может быть сформулирована следующим образом:

1. Документ сохраняется в ядре после повторного запроса. Запрос считается повторным, если данные о первом запросе находятся в информационном разделе, даже если сам документ уже удален из вспомогательной части.
2. Метрика замещения  $C_i = T_z^i / \mathcal{Q}_i$  вычисляется для каждого документа из ядра. Здесь  $T_z^i$  есть время прошедшее после его модификации, а  $\mathcal{Q}_i$  количество запросов после его модификации. Схема с Рис. 5.8.1 содержит графическое объяснение для применяемых переменных.
3. Представленная политика резервирования учитывает то обстоятельство, что документы в глобальной сети изменяются в отличие от статической модели, что впервые было обнаружено в работе Вольмана и др. [126]. В случае модификации документа его новый вариант сохраняется сразу в ядре, при этом значение временного параметра  $T_z^i = 0$  обнуляется, а частотный параметр становится равным единице  $\mathcal{Q}_i = 1$ .

4. Для увеличения байтовой производительности применяется метрика

$$C_i^B = \frac{T_i^z}{g_i} \frac{1}{E_i}. \text{ Здесь параметр } E_i \text{ равен размеру соответствующего}$$

документа в байтах.

5. Документ с наибольшим значением метрического параметра  $C_i$  удаляется из системы резервирования.

Предложенная в настоящем параграфе архитектура систем резервирования позволяет добиться повышения производительности системы, по меньшей мере, на несколько процентов. Этот эффект достигается за счет увеличения ядра системы. Особенно актуально применение данного алгоритма в одноранговых сетях (peer-to-peer), где пользователи могут испытывать дефицит дисковых пространств, выделенных для управления сетью [112, 114].

## 5.9. ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ

Предыдущие параграфы были посвящены изучению статичной модели системы резервирования, которая предполагает, что документы в глобальной сети не обновляются с течением времени и новые документы не генерируются в глобальной сети. В этом параграфе представленная в данной работе модель будет обобщена на случай динамического поведения информационного наполнения глобальной сети.

Впервые аналитическая модель кэш системы, основанная на распределении Зипфа, была построена в работе Бреслау и др. [69], авторы которой предполагали, что документы в глобальной сети статичны. Вольман и др. [126] расширили модель Бреслау и показали, что документы в глобальной сети изменяются, причем в зависимости от их популярности.

Ключевые формулы, предложенные в работе Вольмана и др.

$$C_N = \int_1^n \frac{1}{Cx^\alpha} \left( \frac{1}{1 + \frac{\mu Cx^\alpha}{\lambda N}} \right) dx \quad (5.9.1)$$

$$C = \int_1^n \frac{1}{x^\alpha} dx \quad (5.9.2)$$

определяют производительность системы резервирования, учитывающей динамическую картину информационного наполнения глобальной сети.

Для описания этого явления в распределение Зипфа (5.2.1) вводится дополнительный множитель

$$\frac{\lambda N p_i}{\lambda N p_i + \mu} \quad (5.9.3)$$

где  $\mu$  - параметр распределения, описывающего время между изменениями документа в глобальной сети, а  $p_i$  - величина пропорциональная  $1/i^\alpha$ .

Распределение времени между последовательными изменениями документа имеет экспоненциальный характер с параметром  $\mu$ .

Этот множитель отбрасывает один эффективный запрос любого документа из системы резервирования за время  $T_{ch} = 1/\mu$  между его изменениями. Этот запрос должен быть перенаправлен в глобальную сеть для обновления документа. В работе Вольмана и др. вводится дополнительная параметризация потока запросов от конечных пользователей численностью  $N$  и где  $\lambda$  - среднесуточное число запросов одиночного пользователя.

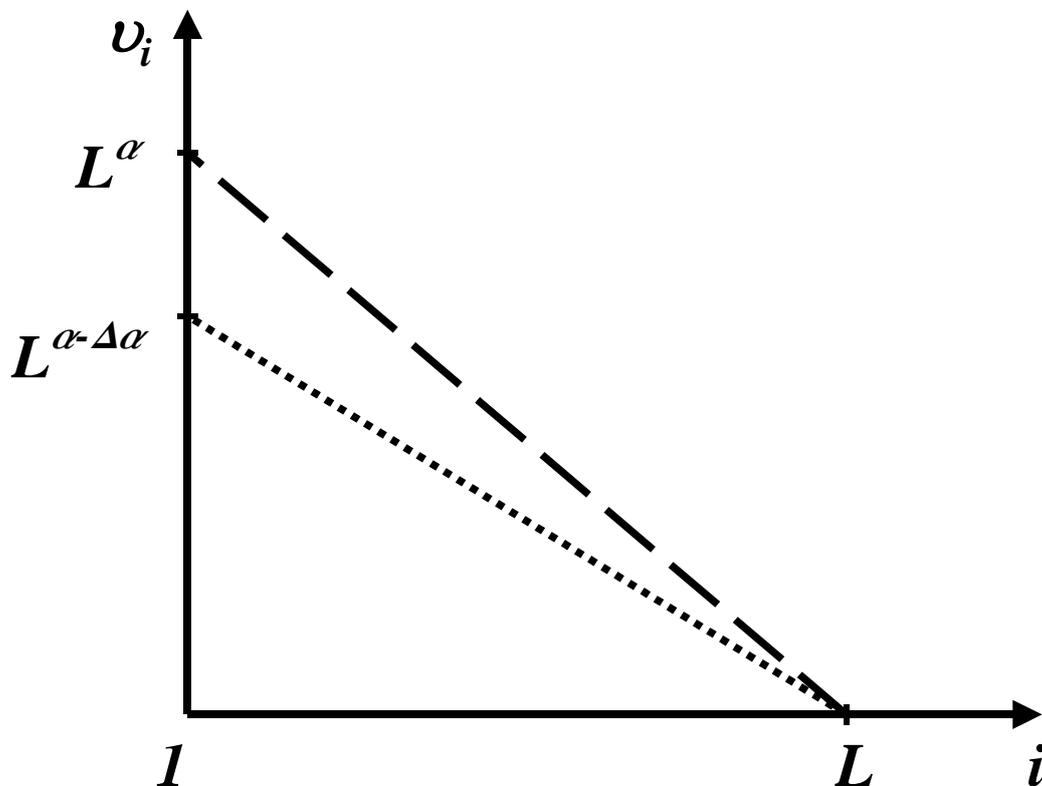
Однако, как и прежде, все необходимые параметры, включая и число клиентов  $N$ , и средняя величина количества запросов в день  $\lambda$  могут быть найдены из распределения Зипфа:

$$\frac{\mathcal{G}_i(1/\mu) - 1}{\mathcal{G}_i(1/\mu)} = \frac{\lambda M p_i}{\lambda N p_i + 1} \quad (5.9.4)$$

где  $\mathcal{G}_i(1/\mu)$  - число запросов из cache  $i$ -го по популярности документа за время  $1/\mu$ .

Согласно экспериментальным данным, приведенным в работе Вольмана и др., существует взаимозависимость между популярностью документа и временем между его модификациями. Причем чем популярнее документ, тем чаще он изменяется по сравнению с менее популярными документами [83]. Вольман и др. предположили, что параметр  $\mu$ , описывающий изменения объекта, принимает всего два значения. Одно из них  $\mu_p$  характеризует изменения наиболее часто запрашиваемых документов, которые составляют 40% от всех запросов. Второе значение этого параметра  $\mu_u$  описывает изменения документов из хвоста обобщенного распределения Зипфа.

Рисунок 5.9.1. Эффект модификации



В настоящей работе предполагается, что параметр модификации  $\mu(i)$  зависит от популярности документа  $i$ . В этом случае производительность системы резервирования будет описываться обобщенным распределением Зипфа с меньшим степенным показателем  $\alpha - \Delta\alpha$ , как это показано на графике с Рис. 5.9.1.

Для того, чтобы определить величину  $\Delta\alpha$  необходимо проанализировать экспериментальные данные. Суть эксперимента сводится к следующему: мы должны посчитать повторные запросы к глобальной сети для документов, хранящихся в кэш-системе. Эти запросы объясняются модификацией документов в глобальной сети. Зная их количество  $\Delta K$ , образовавшееся за время  $T_{st}$ , общее количество документов  $K$  и число уникальных документов  $L$ , можно с помощью уравнения (5.6.2) легко вычислить

$$\Delta\alpha = \Delta K(1-\alpha)^2 / L \quad (5.9.5)$$

Когда кэш-система заполняется, то есть время сбора статистики  $T_{st}$  меньше времени хранения популярных документов  $T_{eff}$ , можно легко найти  $\Delta K$  и  $\Delta H$  как

$$\Delta K = \sum_{i=1}^M \mathcal{G}_i - HK \quad (5.9.6)$$

$$\Delta H = \Delta K / K \quad (5.9.7)$$

Кроме этого, теперь можно найти значения для параметра обновления. Он представляет собой разность между частотами запросов для верхней и нижней кривой с Графика 5.9.1:

$$\mu(i) = \frac{(L/i)^\alpha - (L/i)^{\alpha - \Delta\alpha}}{T_{st}} \quad (5.9.8)$$

или

$$\mu(i) = \frac{1}{T_{st}} \frac{1 - (i/L)^{\Delta\alpha}}{(i/L)^\alpha} \quad (5.9.9)$$

С учетом определений данных в работе Вольмана, можно считать

$$\mu_u = \mu(L/100) \quad (5.9.10)$$

$$\mu_p = \mu(L/4) \quad (5.9.11)$$

Проведенный нами анализ трафика Самарского государственного аэрокосмического университета, дал следующие значения параметров, описывающих обновление документов.

**Таблица 5.9.1. Параметры обновления**

$\alpha$	$\Delta\alpha$	$\Delta H$	$H$	$\mu_u$	$\mu_p$	$T_{st}$
0.72	0.017	2.3%	32.04%	1/202 дня	1/6.2 дня	15 суток

Принципиальные отличия модели, представленной в настоящей работе, и модели Вольмана заключаются в следующем:

- Величина  $\mu(i)$ , обратная к периоду времени между последовательными модификациями документа, непрерывно зависит от популярности документа  $i$ . В работе Вольмана предполагается, что данная величина принимает всего два различных значения.
- Вместо большого количества переменных, параметризующих поток запросов от пользователей и использующихся для описания эффекта обновления, введен один дополнительный параметр  $\Delta\alpha$ , чтобы получить обобщенное распределение Зипфа с меньшим показателем  $\alpha - \Delta\alpha$
- Размер кэш-системы ограничен
- При вычислении идеальной производительности системы резервирования учитывается наличие в кэш-системе непопулярных документов, как это показано в параграфе 5.5. Эффект обновления

документов также понижает максимальное значение производительности системы. Это понижение может быть вычислено

$$H_{\max} \leq 2^{(\alpha-1)/\alpha} (1 - \Delta\alpha / (1 - \alpha)) \quad (5.9.12)$$

В заключение этого параграфа хочется также привести обновленное выражение для поиска производительности системы резервирования:

$$H = p_c \int_1^{S_k} \left( \frac{L}{x} \right)^{\alpha - \Delta\alpha} dx \quad (5.9.13)$$

## 5.10. АЛГОРИТМЫ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ

Один из путей дальнейшего повышения производительности системы резервирования заключается в предвидении будущих запросов пользователей и предварительном перемещении такого объекта в локальный кэш (prefetching). Выгода от алгоритма, учитывающего эффект изменения, заключается в уменьшении времени отклика, а также повышением производительности системы. Например, серверы новостей пользуются значительной популярностью, а информация на них быстро изменяется. Утром, когда пользователи приходят на работу и начинают активно обращаться к сети, многие объекты (сводки новостей, аналитические обзоры и т.д.) уже обновлены и требуются повторные запросы к сети, которые ухудшают качество связи. Если же к приходу пользователей, эти документы бывают обновлены и в локальной кэш-системе, то многие неприятности удастся предупредить, в том числе и загрузку внешнего канала в часы пик. Вместо этого сеть получает дополнительную нагрузку в период наименьшего количества запросов.

В этом параграфе изучаются затраты и возможные выгоды от долговременного предупреждающего резервирования. В традиционном предупреждающем резервировании, рассчитанном на короткие временные промежутки, система использует статистику последних запросов для того, чтобы предсказать и заранее зарезервировать объекты, которые будут

востребованы в ближайшем будущем. Долговременное предупреждающее резервирование использует устоявшуюся долговременную картину и статистику обновлений документов для выбора документов с целью их обновления.

Используя аналитическую модель и статистические данные, Венкатарамани и др. [122] и Джианг и др. [95] изучали алгоритмы долговременного предупреждающего резервирования. Они использовали поровые алгоритмы и выбирали для предварительного резервирования те из документов, для которых специальная метрика превысила некоторое пороговое значение. Критерии отбора включали в себя данные о популярности документа и времени его жизни в системе резервирования.

Один из алгоритмов упреждающего резервирования был предложен Венкатарамани и др. [122]. Предполагается, что для объекта с порядковым номером  $i$  в ранжированном списке время его жизни составляет  $l_i$ , его вероятность быть запрошенным -  $p_i$ . При этом  $a$  характеризует среднюю величину запросов пользователей в секунду. Тогда вероятность того, что объект будет доступен в течении его времени жизни в кэш, равна

$$P_{GoodFetch} = 1 - (1 - p_i)^{a \times l_i} \quad (5.10.1)$$

где  $a \times l_i$  есть общее число запросов за время жизни документа  $l_i$ .

Джианг и др. предложили алгоритм, использующий величину  $ap_i l_i$  для отбора документов. объект с наибольшим значением  $ap_i l_i$  включался в набор для упреждающего резервирования, который выделял документы с наибольшей вероятностью быть измененными, а затем запрошенными пользователями.

Аналитическая модель, представленная в статье [122], позволяет вычислить производительность, достигаемую с помощью пороговых алгоритмов. Для

того, чтобы описать этот эффект дополнительный множитель вводится в подынтегральное выражение из уравнения (5.3.3). Такой множитель

$$ff(i) = ap_i l_i / (ap_i l_i + 1) \quad (5.10.2)$$

полностью идентичен множителю Вольмана из уравнения (5.9.4). Эта дробь описывает вероятность того факта, что документ будет актуальным в момент, когда он будет затребован.

Подход, предложенный в предыдущем параграфе данной работы, позволяет вычислить этот коэффициент как

$$ff(i) = 1 - \Delta\alpha / (1 - \alpha) = 0.93 \quad (5.10.2)$$

При вычислении были использованные данные экспериментальных исследований, собранные в Таблице 5.9.1.

Для того чтобы сохранять документ все время актуальным, то есть документ в локальном кэш не должен отличаться от его прообраза в глобальной сети, требуется его обновление при достижении метрической функцией предельного значения. Эти дополнительные запросы потребуют дополнительной полосы внешнего канала  $\Delta BW$ , которая может быть выражена как

$$\Delta BW = (1 - ff(i))v_{int} \quad (5.10.3)$$

Эта полоса требует дополнительно до 7% пропускной способности внешнего канала. однако, алгоритм может быть настроен таким образом, что дополнительные запросы к сети осуществляются в период наименьшей загрузки, например, в ночное время.

Предложенный нами в параграфе 5.7 алгоритм резервирования легко может быть дополнен блоком, отвечающим за упреждающее резервирование.

Основные положения этого блока следующие:

1. Вычисляется дополнительный параметр  $N^i$ , равный количеству модификаций объекта после его включения в систему.

2. Пороговое значение для  $i$  документа равно  $T_p^i = T_{ins} / N^i$ , где  $T_{ins}$  время, прошедшее с момента включения в кэш.
3. Если время  $T_z^i$ , прошедшее после последней модификации документа превышает пороговое значение  $T_p^i$ , то требуется упреждающее резервирование.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заключение данной диссертации хотелось бы дать итоговую оценку проделанной работы.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

В диссертации решена крупная научно-техническая проблема – разработаны научные основы анализа качества интернет трафика и на их основе создана методология сетевых измерений, позволяющая оценить состояние сети для внедрения последнего поколения научно-образовательных предложений. Эта проблема имеет важное социально-культурное и хозяйственное значение для развития телекоммуникационных систем и компьютерных сетей и, прежде всего, для внедрения грид технологий и технологий распределенных вычислений, приложений на базе потокового видео, включая интернет телевидение, других высокоскоростных приложений.

1. Разработана аналитическая модель трафика на участке высокоскоростной сети, согласно которой для сравнения качества соединений в глобальной сети достаточно использовать единственный параметр: среднюю скорость потока (flow).
2. Найдено соответствие между возможностью запуска того или иного высокоскоростного приложения и средней скоростью потока.
3. Построена аналитическая модель для оценки качества аудиовизуального трафика, позволяющее вычислять качество получаемых видео и аудио сигналов на основе параметров интернет соединения между двумя точками.
4. Разработана аналитическая модель системы резервирования трафика (проху cache) с целью повышения эффективности внешнего канала, базирующаяся на новом решении системы уравнений, описывающих процесс резервирования и полученная при помощи метода граничных условий, заимствованного из теоретической физики.

5. Предложен анализ эффективности и методология оценки региональных интернет сервис провайдеров, включая методику и сравнительный анализ эффективности различных транспортных средств, формулировка критериев эффективности инсталляционного процесса, текущей эксплуатации, качества предоставляемой связи.
6. Сформулированы принципы построения региональной сети для науки и образования и методика составления рейтинга региональных сетей. Эти принципы, реализованные при создании Самарской региональной сети для науки и образования, включают следующие положения: основой сети должен быть оптико-волоконный кабель, находящийся в собственности научно-образовательных организаций; доленое строительство с частными телефонными компаниями; максимальное совмещение инфраструктуры научно-образовательных сетей с установившейся инфраструктурой связи; получение доступа к первичной наземной цифровой сети и использование конкурентной среды; выбор протокола Ethernet в качестве транспортного протокола первичной сети.

В условиях стремительного роста трафика российских научно-образовательных сетей и наметившегося перехода к технологиям сетей нового поколения (NGN) все более значительным становится вклад средне и высокоскоростных Интернет приложений. Наши усилия были направлены на разработку критериев для оценки качества последнего поколения научно-образовательных приложений:

- грид-инфраструктур (распределенные вычисления),
- современных средств аудиовизуальной связи, включая высокоскоростные видеоконференции и интернет-телевещание,
- передачи оцифрованной экспериментальной информации, собранной в различных областях знаний,

- высокоскоростного доступа к научным публикациям и цифровым библиотекам

Указанные приложения предъявляют определенные требования к сетевой инфраструктуре, в первую очередь, к качеству соединений и их безопасности. Измерительная система производит анализ существующей сетевой инфраструктуры RBNet для определения условий функционирования последнего поколения научно-образовательных приложений.

В результате обобщения экспериментальных данных, полученных при помощи измерительной инфраструктуры, были построены ряд моделей, описывающих важнейшие сетевые проявления, в том числе и аналитическая модель для оценки качества аудиовизуального трафика. Это феноменологическая модель, в основе которой лежит уравнение, позволяющее вычислять качество получаемого видео и аудио сигналов по шкале MOS, используя параметры интернет соединения между двумя точками (долю потерянных пакетов и вариацию их задержки).

Анализ процесса передачи информации позволил выделить три основных фактора, влияющих на качество связи.

- структуру передаваемого и получаемого сигналов, определяемая оборудованием VVoIP систем.
- качество сети передачи данных, используемой в качестве среды передачи
- человеческое восприятие, служащее основой для оценки качества аудио и видео приложений

Исследования, проводимые до сих пор, ограничивались сравнительным анализом действия двух компонент из вышеупомянутого списка. Наш подход состоит в сравнении параметров исходного видео сигнала с параметрами сети при фиксированном качестве связи, то есть в анализе всех трех основных факторов.

Структура исходного сигнала описывается параметрами распределения (средним значением и межквартильной шириной) для межпакетного интервала и размера пакетов. Искажения, вносимые сетью, вызваны двумя основными эффектами – потерей пакетов и нарушением порядка следования пакетов.

Проведена серия тестов в локальной сети, позволившая установить тип и параметры распределений потоков RTP пакетов, переносящих видео и голосовую информацию, проанализировать их зависимость от ширины потока. Серия тестов в глобальной сети (на трансатлантических каналах между NEAnet и OARnet) позволила рассчитать численные значения коэффициентов модели.

Работа по моделированию передачи аудиовизуальной информации по сетям протокола TCP/IP получила практическое продолжение. С апреля 2006 года ООО НПЦ «Интернет ТВ» начата трансляция общеуниверситетского канала интернет – телевидения на базе Самарской региональной сети для науки и образования.

Важнейший вопрос, возникающий при организации Интернет – телевидения, состоит в выборе параметров телевидения. Параметры вещания (скорость вещания, метод компрессии, размер изображения, период буферизации и др.) зависят от типа трансляции (вещание предварительно записанной программы, вещание из студии, выездной прямой эфир с места события и т.д.) и рассчитываются по данным измерений согласно методике, основанной на результатах данной диссертации.

В диссертации развивается аналитическая модель трафика на участке высокоскоростной сети. Согласно которой, для анализа качества участка магистрали или канала к провайдеру, необходимо построить графическую зависимость между загрузкой канала и числом активных потоков в нем, то есть ввести дополнительную переменную для описания состояния сети.

На основе данной модели представлен метод анализа реальных интернет каналов, базирующийся на графической зависимости между загрузкой канала и числом активных потоков в нем. Согласно модели выделяются рабочий участок сети, перегруженная сеть, неработоспособное состояние, а также строится доверительный интервал для суммарной нагрузки, ограниченный параболической функцией, определяемой квадратным корнем от числа активных потоков. Разработана оригинальная методика тестирования, опробованная на сетях самарского оператора СамараТелеком и ирландской национальной сети для науки и образования HEAnet.

Аналитическая модель, описывающая систему резервирования трафика (проху cache) служит для повышения эффективности внешнего канала. Данная модель базируется на новом решении системы уравнений, описывающих процесс резервирования, при помощи метода граничных условий, заимствованного из теоретической физики.

В качестве границы выбраны особые точки обобщенного распределения Зипфа, которое описывает популярность документов, запрашиваемых из глобальной сети. Произведен расчет предельной производительности, который может быть достигнут системой резервирования, найдена зависимость роста производительности системы от размера жесткого диска, выделенного для хранения резервируемой информации.

Установлено соотношение между объемом резервируемых данных, превышение которого не увеличивает производительность, и шириной внешнего канала. Проведенный эксперимент подтвердил основные уравнения модели и позволил вычислить соотношение между временами жизни в системе популярных и непопулярных документов. Выполнено сравнение значений показателя степени обобщенного распределения Зипфа, вычисленного по данным эксперимента различными способами.

Предложена новая архитектура системы резервирования с метрикой замещения на базе распределения Зипфа. Для описания эффекта обновления

документов в глобальной сети предложено распределение Зипфа с меньшим показателем степени. Проведен эксперимент по нахождению параметров, описывающих обновление документа, и предложен блок поправок к основному алгоритму резервирования, который учитывает эффект обновления документов в сети.

Основным практическим результатом данной работы является построение Самарской региональной сети для науки и образования. Работа над данным проектом была начата автором с момента получения им гранта INTAS (INTAS-IA-003) по созданию Европейской сети для математиков EmNet/NIS/PhaseII в 1995 году. В это время в Самаре не было даже коммерческих интернет каналов.

Для того чтобы на своем рабочем месте каждый научный сотрудник, преподаватель или студент получил доступ к глобальной сети с поддержкой наиболее современных сервисов, необходимо проделать огромную работу. Она включает развитие общероссийской магистральной сети для науки и образования, региональных сетей и локальных сетей научно-исследовательских и образовательных организаций, а также учреждений культуры и здравоохранения. Каждый из трех уровней сетевого строительства (федеральный, региональный, локальный) имеет свои особенности. В настоящей работе основное внимание сосредоточено на принципах построения региональных научно-образовательных сетей, которые были сформулированы при создании Самарской региональной сети для науки и образования. Данная сеть была построена с нулевого уровня коллективом, в котором автору посчастливилось играть роль технического руководителя. То есть была предоставлена возможность воплотить все сформулированные в диссертации принципы и технические решения в жизнь.

Кратко остановимся на этих принципах. Прежде всего, основой сети должен быть оптико-волоконный кабель, находящийся в собственности научно-

образовательных организаций. Прокладка такого кабеля в существующей телефонной канализации и оформление собственности на него в середине девяностых были огромной проблемой. Из-за монопольного положения операторов связи, входящих в холдинг «Связьинвест» (региональные телекомы), получить разрешение на прокладку кабеля, можно было получить с условием, что кабель останется в собственности монополиста. При этом предполагалось, что научно-образовательные сети будут покупать трафик по коммерческим ценам, в лучшем случае, с небольшой скидкой. Выход был найден в виде долевого строительства с частными телефонными компаниями, которые в тот момент начали создаваться высокопоставленными менеджерами региональных телекомов.

Так в конце 1996 года нам удалось проложить первые километры оптиковолоконного кабеля и получить доступ к существующей инфраструктуре связи. В этот момент был сформулирован принцип максимального совмещения инфраструктуры научно-образовательных сетей с установившейся инфраструктурой связи. Другими словами, размещение узлов собственной опорной сети при базовых телекоммуникационных узлах региона (ТЦМС-5 – Приволжский филиал Ростелекома, междугородняя телефонная станция, узловые АТС города, ЛАЗ управления Куйбышевской железной дороги – узел ТрансТелекома).

При подключении нашей сети к вышестоящему провайдеру – федеральной опорной сети RNet, была сделана ставка на получение доступа к первичной наземной цифровой сети и использование конкурентной среды. Самара первый город (после Москвы и С. Петербурга), где региональная сеть получила доступ к цифровым сетям Ростелекома (1997 год) и ТрансТелекома (2001 год). Наши тесты [51, 61] показали невысокие эффективность и качество, а также высокую стоимость спутникового подключения. Задача о получении в аренду или собственность темной оптиковолоконной жилы или

длины волны в общероссийской магистрали не ставилась, но в настоящее время она становится актуальной, в связи с появлением WDM технологий.

Еще одним базовым принципом построения сети был выбор протокола Ethernet в качестве транспортного протокола первичной сети. Преимущества Ethernet сетей: невысокая стоимость оборудования, упрощенный переход на новую скорость связи, существование различных подстандартов внутри одной сети (масштабируемость), быстрое развитие стандарта с появлением новых скоростей связи, перекрывают все недостатки протокола, вызванные наличием коллизий. Всегда, когда был выбор, вложить деньги или в кабельную систему, или в оборудование, выбиралось первое. Набор оборудования часто был простейшим и состоял из конверторов и концентратора, так как такой набор полностью покрывает все требования для Интернет-трафика. Через год-другой, когда стоимость оборудования значительно (в разы) уменьшится, можно произвести дополнительные закупки и провести модернизацию, но она уже не будет связана со значительным количеством разрешительной документации.

К 2001 году, когда автор отошел от повседневного сопровождения построенной сети, были выполнены работы, которые определили дальнейшее развитие сети, а именно

- определена топология сети и инсталлированы основные узлы при предприятиях связи
- решен вопрос с получением разрешений на прокладку оптоволоконных кабелей связи в существующей телефонной канализации
- проложены первые 40 километров оптоволоконного кабеля
- подключены все учреждения РАН и крупнейшие государственные Вузы
- осуществлено подключение к цифровой магистральной сети RBNet
- сдана система коммутируемого доступа

- запущены основные информационные сервисы
- произошел переход на договорную систему обслуживания подключенных организаций

В диссертации сформулированы критерии, которые могли бы быть основой для сравнения различных транспортных сред для построения IP сетей. Первая группа оценок касается различных аспектов инсталляции системы, вторая группа описывает процесс последующей эксплуатации, а третья отвечает за качество представляемой связи.

Как оценить перспективность вложений и перспективы сети? С точки зрения автора определяющее значение играет параметр, показывающий все понесенные с начала строительства сети капитальные затраты отнесенные на один терабайт ежемесячного трафика.

Сформулированные выше принципы построения Самарской региональной сети для науки и образования основываются на том факте, что научно-образовательные учреждения могут потратить однократно значительные суммы, но платить постоянно даже половину или даже четверть стоимости коммерческой эксплуатации они никогда не смогут. В результате, на начало 2004 года общие расходы на строительство сети с 1996 года можно оценить в полтора миллиона долларов из всех источников. В то же время основные параметры сети можно охарактеризовать как более трех терабайт ежемесячного трафика, протяженность собственных оптико-волоконных кабелей более 100 км, ширина канала до Москвы – 22 Мбит\с. То есть, потрачено около 500 тысяч долларов на терабайт ежемесячного трафика. Следует отметить, что этот показатель обычно составляет от одного до двух миллионов долларов. Но в Самарскую региональную сеть заложен огромный потенциал, связанный с возможностью недорогой и поэтапной реконструкции, когда отдельные узлы переводятся на новый, более скоростной стандарт связи, в то время, как основная инфраструктура (кабели связи, стойки, источники питания и т.д.) остаются неизменными.

Исследования на современных высокоскоростных сетях требуют коллективных усилий, доля работ, выполненных одним автором менее одного процента. Кроме этого скорость восприятия информации и, особенно, степень овладения программными средствами падает с возрастом. По моим наблюдениям разница в десять лет соответствует трехкратному росту времени на освоение новых программных пакетов. Поэтому целесообразно привлечение в исследовательский коллектив студентов-старшекурсников, которые помогут в инсталляции необходимых сервисов и сборе данных. Роль руководителя состоит в выборе объекта исследования, формулировке задачи, определении набора данных и методики их обработки. Следуя этой методологии, мне удалось прилечь к исследованиям в области резервирования трафика Дмитрия Долгих, для построения модели трафика для участка высокоскоростной сети Федора Афанасьева, Антона Петрова и Warren Daly, для анализа мультимедийных потоков Александра Ильина и Prasad Calyam.

### Литература

- [1] Астафьев В.И., Зинченко В.Н., Соловов А.В., Камаев В.П., Фридман Л.М., Сухов А.М., Санников А.Л., Чумаков Л.В. Проект создания единого информационного пространства Самарской области в сфере науки, образования, культуры, здравоохранения и социального обеспечения // Вестник СамГУ – 1995 – специальный выпуск - с. 198-204
- [2] Астафьев В.И., Санников А.Л., Сухов А.М. Информационно-аналитический центр перспективных исследований при Самарском госуниверситете // Тезисы докладов, Телематика 95
- [3] Афанасьев Ф.В., Петров А.В., Сухов А.М. Проверка качества каналов Интернет // Сети и системы связи – 2003 - №6 (98) - с. 92-94
- [4] Афанасьев Ф., Петров А., Daly W., Сухов А. Анализ Интернет трафика на основе потоковых технологий // Семинар «Проблемы современных информационно-вычислительных систем» под руководством проф. Васенина В.А. и проф. Корнеева В.В. - мехмат МГУ - февраль 2004 - <http://onager.s2s.msu.ru/seminar.html>
- [5] Балакин В.А., Белоконов И.В., Симановский Е.А., Сухов А.М. Поддержка высокотехнологических предприятий Самарской научно-образовательной сетью // Тезисы докладов, Телематика 99
- [6] Балакин В.А., Белоконов И.В., Симановский Е.А., Сухов А.М. Телекоммуникационная поддержка международных аэрокосмических проектов // Тезисы докладов конференции "Научный сервис в сети Интернет" - Новороссийск, 1999 - из-во МГУ, с. 70-72
- [7] Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей – М.: - Эдиториал УРСС, 2001 – 320 с.
- [8] Бугай А.И., Калинина Э.В., Ретинская И.В., Скуратов А.К. Некоторые особенности моделирования сетевого трафика // Теоретические проблемы информатики и ее приложений: Сб. науч. тр. / Под ред. проф. Сытника А.А. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, - 2003. Вып 5., стр. 30-41.

- [9] Бугай А.И., Калинина Э.В., Ретинская И.В., Скуратов А.К. Статистический анализ информационных потоков в глобальных сетях. // Информационные технологии – 2002 - №1 - с. 11-15.
- [10] Грачев В.Г., Симановский Е.А. Анализ внешнего трафика корпоративной сети Самарского государственного аэрокосмического университета и оптимизация использования ресурсов на его основе // Труды международной конференции Телематика 2001. – С.-Петербург: Редакционно-издательский отдел СПбГИТМиО, 2001
- [11] Грачев В., Симановский Е. Исследование структуры трафика корпоративной сети Самарского государственного аэрокосмического университета // Телекоммуникации и информатизация образования. – 2002 - №2(9) - с. 76-84
- [12] Грачев В.Г., Симановский Е.А. Моменты скорости передачи данных Интернет-канала сети организации: Материалы всероссийской научно-технической конференции “Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций”// Под редакцией И.Г. Мироненко, М.Н. Пиганова. – Самара: СГАУ, 2005. – с. 26-33
- [13] Грачев В.Г., Симановский Е.А. О законе распределения времени между открытием пользовательских сессий во внешнем канале // Труды международной конференции Телематика 2002. – С.-Петербург: Редакционно-издательский отдел СПбГИТМиО, 2002
- [14] Грачев В.Г., Симановский Е.А. Оценка необходимой полосы пропускания внешнего канала корпоративной сети // Труды международной конференции Телематика 2003. – Санкт-Петербург: Редакционно-издательский отдел СПбГИТМиО, 2003
- [15] Грачев В.Г., Симановский Е.А. Оценка скорости передачи данных внешнего Интернет-канала организации для обеспечения требуемого качества подключения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. - №10. – с. 70-79

- [16] Долгих Д.Г., Симановский Е.А., Сухов А.М. Оптимизация систем кэширования трафика // Труды X Всероссийской научно-методической конференции Телематика 2003 - С. Петербург, Редакционно-издательский отдел СПбГИТМиО, 2003 - том 1, с. 278-279
- [17] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Повышение эффективности внешних каналов // Материалы VIII конференции представителей региональных научно-образовательных сетей "RELARN 2001" – Петрозаводск, 2001 - с.29-35
- [18] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Системы резервирования трафика в Интернет // VI рабочее совещание по электронным публикациям "El-Pub2001" - 25-27 апреля 2001 г., Новосибирск, Академгородок - <http://www.ict.nsc.ru/ws/elpub2001/1859/>
- [19] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Системы резервирования трафика. Аналитическая модель // Телекоммуникации - 2007 - № 3 - с. 8-11
- [20] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Системы резервирования трафика. Экспериментальные данные и их обработка // Телекоммуникации - 2007 - № 4 - с. 22-24
- [21] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Системы резервирования трафика. Архитектура и алгоритмы // Телекоммуникации - 2007 - № 4 - с. 24-27
- [22] Долгих Д.Г., Сухов А.М. Системы резервирования трафика. Эффект изменения документов в глобальной сети // Телекоммуникации - 2007 - № 5 - с. 29-31
- [23] Домрачев В.Г., Безрукавный Д.С., Калинина Э.В., Ретинская И.В., Скуратов А.К. Нечеткие методы в задачах мониторинга сетевого трафика // Информационные технологии – 2006 - №3 - с. 2-10
- [24] Еремин А.Л., Долгих Д.Г., Ильин А.Ю., Платонов А.П., Стрижов М.В., Сухов А.М. Система измерений для внедрения мультикастинговой рассылки мультимедийных сообщений // материалы XIII конференции представителей научно-образовательных сетей "RELARN 2006" - Барнаул, 2006 - с. 26-28

- [25] А.Л. Еремин, А.П. Платонов, М.В. Стрижов, А.М. Сухов, Научно-образовательное интернет-телевидение на базе Самарской региональной сети науки и образования // Труды XIII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2006» - С.Петербург, 2006 - том 1, с. 214-215
- [26] Ильин А., Сухов А. Создание измерительной инфраструктуры для российского сегмента Интернет // Тезисы докладов XI конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN 2004» - Самара – Волгоград – Астрахань, 2004 - с.39-44
- [27] Ильин А., Платонов А., Сухов А. Сравнительный анализ региональных научно-образовательных сетей // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет» - Новороссийск, из-во МГУ, 2004 - с.14-17
- [28] Ильин А., Платонов А., Сухов А. Видеоконференции в Интернет // Телекоммуникации – 2005 - №12 - с. 24 - 28
- [29] Каптельцев Н., Першин А., Миссия «Фотона» // Новости космонавтики – 1999 - №11(202) - с. 8-11
- [30] Коноплев В., Захаров Д., Боярский М., Назиров Р. Система адаптивного агрегирования для кластеризации данных сетевого трафика // Электронный журнал «Исследовано в России» - с. 2555 – 2568 - <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/220.pdf>
- [31] Крашаков С.А., Теслюк А.Б., Щур Л.Н. Об универсальности рангового распределения популярности веб-серверов // Вестник РФФИ – 2004 - № 1 - с. 46-66
- [32] Платонов А.П., Сухов А.М. Методики оценки Интернет-аудитории в регионах России // Сети и Системы Связи - 2006- специальный выпуск "Связь 2006" для выставки "Связь-Экспоком-2006" - с.14-15
- [33] Подольский, В.Е. Использование критериев стохастической структурной сложности для принятия решения по реконструкции

региональной образовательной компьютерной сети // Телекоммуникации и информатизация образования -2005 - № 6(31) - с.64 – 81

[34] Подольский В.Е. Создание инфраструктуры системы открытого образования // Информатика и образование. – 2001 -№ 4. -с. 11 – 18.

[35] Прохоров В.В., Косарев В.А., Петухов А.П., Смирнов А.В., Прохоров И.В. Многофункциональная система интернет – видеосвязи «VIPPHONE» // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет» - г. Новороссийск, из-во МГУ, 2004 - с. 262-265

[36] Рузин А. Кто он, владелец доменов .RU? // Обзор Cnews.ru - апрель 2004 - <http://cnews.ru/newcom/index.shtml?2004/04/13/157728>

[37] Санчугов В.И., Симановский Е.А., Сухов А.М. Проект объединения локальных сетей СГАУ, СНЦ РАН, ИСОИ РАН и ИАМ // Отчет по НИР, 1997

[38] Симановский Е.А., Сухов А.М., Бездверный В.В. Нагрузочные характеристики локальной сети СГАУ // Сборник докладов RELARN 1996 – Москва, МЦНТИ, 1996 - с. 16-17

[39] Скуратов А.К. Алгоритмы анализа и мониторинга телекоммуникационной сети с использованием статистических методов. // Вестник УГАТУ – 2005 - т.6, №1(12) - с.212-226.

[40] Скуратов А.К. Анализ и мониторинг телекоммуникационных сетей на основе статистической системы исследования информационных потоков // Труды XII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2005» - 6-9 июня 2005г., Из-во СПб - том 1 - стр. 59-60.

[41] Скуратов А.К. Использование временных рядов для целей статистического анализа телекоммуникационных сетей на основе исследования информационных потоков // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого: Научно-теоретический и прикладной журнал. Серия «Технические науки» - 2005 - №34 - с. 112-117.

- [42] Сойфер В.А., Симановский Е.А., Сухов А.М. Информационное пространство и локальная сеть СГАУ // Тезисы докладов Телематика 96 – С. Петербург, 1996 - с.48
- [43] Сойфер В.А., Симановский Е.А., Сухов А.М., Самарский городской сегмент информационного пространства науки и высшей школы // Сборник докладов RELARN 1997 - Москва, МЦНТИ, 1997 - с. 38-40
- [44] Сойфер В.А., Симановский Е.А., Сухов А.М. Опорная сеть АТМ как основа Самарского регионального информационного пространства науки и высшей школы // Тезисы докладов Телематика 98 - С. Петербург, 1998 - с.44
- [45] Сойфер В.А., Кузьмичев В.С., Симановский Е.А., Сухов А.М. Создание регионального сегмента компьютерно-информационной среды академических и вузовских организаций в Самарском регионе // Сборник докладов RELARN 1999- Самара, 1999
- [46] Сухов А. Информационное обеспечение учебного процесса и научных исследований // Сборник докладов RELARN 1994 - Москва, МЦНТИ, 1994 - с. 46
- [47] Сухов А.М. Проект EmNet/NIS/PhaseII на физико-математическом факультете Самарского пединститута // Доклады ежегодной научной конференции Физмат СГПИ – Самара, из-во СГПИ, 1996 - с. 3
- [48] Сухов А.М. Обзор состояния рынка телекоммуникаций в Самарской области // Компас (Компьютерный путеводитель Самары) – 1998 - №4 - с. 12-13
- [49] Сухов А.М. Подключение к Интернет // Компас (Компьютерный путеводитель Самары) – 1999 - №2 - с. 26-28
- [50] Сухов А.М. Обзор состояния научно-образовательных сетей в Европе (по итогам конференции TERENA-2001) // Тезисы докладов конференции "Научный сервис в сети Интернет" - Новороссийск, из-во МГУ, 2001 - с. 35-37

- [51] Сухов А.М. Экспериментальный спутниковый канал для Российской провинции // Тезисы докладов конференции "Научный сервис в сети Интернет" - Новороссийск, из-во МГУ, 2001 - с. 37-41
- [52] Сухов А.М. Сравнительный обзор состояния телекоммуникационной инфраструктуры науки и образования в Европе и России // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет» - Новороссийск, из-во МГУ, 2003 - с.40-43
- [53] Сухов А.М. Телекоммуникации в Самарской области // Сети и системы связи – 2003 - №13(105) - с. 50-55
- [54] Сухов А.М. Эффективность региональных операторов связи // Сети и системы связи - 2004 - №7(113) - с. 18-22
- [55] Сухов А.М. Моделирование нагрузки на участке высокоскоростной сети // Телекоммуникации - 2006 - № 2 - с. 23-29
- [56] Табаченко Н.В., Крючков И.Л., Ландина М.Ю. Российский сегмент Интернет в цифрах и фактах // <http://monitoring.s2s.msu.ru/>
- [57] Устюжанин А.М. Работы ИММ УрО РАН по программе EuroMath Net/NIS/II и по фонду “Математика” // Международное совещание по электронным публикациям (EL-PUB-96) - Новосибирск, Академгородок, ИВТ СО РАН, 16-18 апреля 1996 года
- [58] Almeida V., Bestavros A., Crovella V., and De Oliveira A. Characterizing reference locality in the WWW // in: IEEE International Conference in Parallel and Distributed Information Systems - Miami Beach, Florida, USA, December 1996
- [59] Almeida V., Cesirio M., Canado R., Junior W., Murta C. Analyzing the behavior of a proxy server in the light of regional and cultural issues // 3rd International WWW Caching Workshop, Manchester, England, June 1998
- [60] Altman E.; Avratchenkov K.; Barakat C. A stochastic model for TCP/IP with stationary random losses // ACM SIGCOMM, September 2000
- [61] Balakin V.L., Belokonov I.V., Sukhov A.M., Simanovsky Ye.A., Kozlov V.D., Legros J.C. Decentralized Control System of International Aerospace

Projects on the Basis of Satellite Information Technologies // Proceedings of the International Conference "Scientific and Technological Experiments on Russian Foton/Bion Recoverable Satellites: Results, Problems and Outlooks" - Samara, 2000 - p. 282 –285

[62] Barakat C., Thiran P., Iannaccone G., Diot C., Owezarski P. A flow-based model for Internet backbone traffic // IEEE Transactions on Signal Processing - Special Issue on Signal Processing in Networking – 2003 - vol. 51, no. 8 - pp. 2111-2124

[63] Baccelli F., Hong D. Flow Level Simulation of Large IP Networks // Proceedings of INFOCOM, San Francisco, IEEE - 2003

[64] Belov S., Bredikhin S., Kovalyov S., Kulagin S., Musher S., Scherbakova N., Shabalnikov I. The emerging Internet landscape in Siberia // Computer Networks and ISDN systems – 1998 - v.30, iss. 16-18 - pp.1657-1662

[65] Ben Fredj S., Bonald T., Proutiere A., Regnie G., Roberts J. Statistical Bandwidth Sharing: A Study of Congestion at Flow Level // ACM SIGCOMM, August 2001

[66] Bonaventura S., Baldi F., Alfano M., Mirabelli M., Antkowiak J., Dehnel A. Testing user perceived multimedia communication quality using realistic tasks // EURESCOM, Project P807: JUPITER2 – Joint Usability, Performability and Interoperability Trials in Europe - 1999

[67] Bowman C., Danzig P., Hardy D., Manber U. and Schwartz M. The Harvest Information Discovery and Access System // Computer Networks and ISDN Systems – 1995 - Vol. 28, No. 1-2

[68] Bremaud P. and Massoulie L. Power spectra of general shot noises and Hawkes point processes with a random excitation // Journal of Applied Probability 2002 – 34 – p. 205-222

[69] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Phillips, S. Shenker Web Caching and Zipf-like Distribution: Evidence and Implications // in: IEEE Infocom –1999 - vol. XX, no. V - p. 1-9

- [70] Calyam P., Mandrawa W., Sridharan M., Khan A., Schopis P. H.323 Beacon: An H.323 application related end-to-end performance troubleshooting tool // Proceedings of ACM SIGCOMM Network Troubleshooting Workshop (NetTs' 04) - Portland, October 2004
- [71] Calyam P., Sridharan M., Mandrawa W., Schopis P. Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic // PAM2004
- [72] Cao P., Irani S. Cost-aware WWW-proxy caching algorithms // Proceedings of the USENIX Symposium on Internet technology and Systems - December 1997 - pp.193-206
- [73] Chuah C.-N. and Katz R.H. Characterizing Packet Audio Streams from Internet Multimedia Applications // ICC 2002
- [74] Cisco IOS NetFlow site, Cisco Systems, <http://www.cisco.com/go/netflow/>
- [75] Clark A. Modeling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality - 2001
- [76] Claypool M., Tanner J. The Effects of Jitter on the Perceptual Quality of Video // ACM Multimedia, 1999
- [77] Cottrell L., Matthews W. and Logg C. Tutorial on Internet Monitoring & PingER at SLAC, 2001 // <http://www.slac.stanford.edu/comp/net/wan-mon/tutorial.html>
- [78] Crovella M., Bestavros A. Self-similarity in world wide web traffic: Evidence and possible cause // In Proceedings of ACM SIGMETRICS'96 - 1996
- [79] Daley D. and Vere-Jones D. An introduction to the theory of point processes - Springer-Verlag - 1988
- [80] Deri L. nProbe: an Open Source NetFlow Probe for Gigabit Networks // TERENA 2003, Zagreb, May 2003
- [81] Dolgikh D.G., Shavaldin A.A., Sukhov A.M. Cost benefit analysis // Reports "Second Web Cache Managers Workshop" - TERENA and DESIRE Budapest, 2000
- [82] Dolgikh D., Sukhov A. Parameters of cache systems based on a Zipf-like distribution // Computer Networks – 2001 - 37(6) - p.711-716

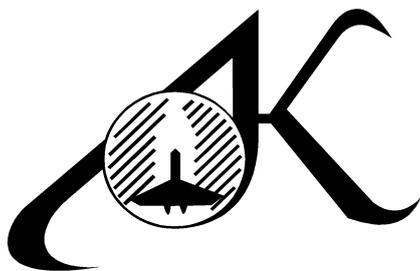
- [83] Douglis E., Feldmann A., Krishnamurthy B., and Mogul J. Rate of change and other metric: a live study of the World Wide Web // In Proc. of the 1st USENIX Symp. on Internet Technologies and System – 1997 - pp. 147-158
- [84] Fraleigh C., Moon S., Diot C., Lyles B., Tobagi F. Packet-Level Traffic Measurements from a Tier-1 IP Backbone // Sprint ATL Technical Report TR01-ATL-110101 - November 2001
- [85] Fraleigh C., Tobagi F., Diot C. Provisioning IP Backbone Networks to Support Latency Sensitive Traffic // INFOCOM 2003
- [86] Finger R., Davis A. Measuring Video Quality in Videoconferencing Systems
- [87] Gadge S., Chase J., Rabinovich M., Web caching and content distribution: a view from interior // Computer Communications – 2001 - 24(2) - p. 222-231
- [88] Garcia M. GÉANT Support for Research Within and Beyond Europe // TERENA 2003, Zagreb, May 2003
- [89] Glassman S., A caching relay for the world wide web // In First International Conference on the World- Wide Web - CERN, Geneva, Switzerland, May 1994
- [90] Hannigan B., Howe C.D., Chan S., Buss T. Why caching matters.// Technical Report, Forrester Research Inc. - October 1997
- [91] Izhvanov Yu., Gugel Yu., Tikhonov A., Vasiliev V. The Telecommunication Infrastructure of Russian Education // TERENA 2003, Zagreb - <http://www.terena.nl/conferences/tnc2003/programme/papers/p1b3.pdf>
- [92] ITU-T Recommendation G.107- The Emodel, a computational model for use in transmission planning - 1998
- [93] ITU-T Recommendation P.911 - Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications - 1998
- [94] Jiang W. and Schulzrinne H. Modeling of packet loss and delay and their effect on real-time multimedia service quality // Proc. of NOSSDAV, 2000

- [95] Jiang Y., Wu M., Shu W. Web Prefetching: Costs, Benefits and Performance // 7th International Workshop on Web Caching and Content Distribution - Boulder, USA, August 2002
- [96] Jin S., Bestabros A. GreedyDual\* Web caching algorithm: exploiting the two sources of temporal locality in Web request streams // Computer Communications –2001 - 24(2) - p. 174-183
- [97] Karam M., Tobagi F. Analysis of the Delay and Jitter of Voice Traffic over the Internet // IEEE INFOCOM, 2001
- [98] Kleinrock L. - Queueing Systems - Wiley, NY, 1975 - Vol. I: Theory
- [99] Leinen S., Przybylski M., Reijs V., Trocha S. Testing of Traffic Measurement Tools // GEANT Report GEA-01-113, October 2001
- [100] Luotonen A., Frystyk H., and Berners-Lee N. CERN HTTPD public domain full featured hypertext/proxy server with caching - 1994
- [101] Markopoulou A., Tobagi F., M. Karam M. Assessment of VoIP quality over Internet backbones // IEEE INFOCOM, 2002
- [102] Mathis M., Semke J., Mahdavi J., and Ott T. The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm // ACM Computer Communication Review – 1997 - vol. 27, no. 3 - pp. 67-82
- [103] Meng X.G., Wong S.H., Yuan Y., Lu S. Characterizing flows in large wireless data networks // Proceedings of ACM MOBICOM – 2004 – p. 174—186
- [104] Mullin J., Smallwood L., Watson A., Wilson G. New techniques for assessing audio and video quality in real-time interactive communications // IHM-HCI Tutorial, 2001
- [105] Padhye J., Firoiu V., Towsley D., Kurose J., Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation // Proc. SIGCOMM Symp. Communications Architectures and Protocols - Aug. 1998 - pp. 304-314
- [106] Papagiannaki K., Taft N., Zhang Z.-L., Diot C. Long-Term Forecasting of Internet Backbone Traffic: Observations and Initial Models // INFOCOM 2003

- [107] Paxson V.; Floyd S. Wide-area traffic: The failure of Poisson modeling // IEEE/ACM Trans. Networking – 1995 - Vol.3, no. 3 - p. 226-255
- Raymond D., Kanenishi K., Matsuura K., Yano Y. Feasibility of videoconference-based lectures over the Internet // International Journal of Learning Technology (IJLT)- 2006- Vol.2, No.1, - p. 5-27
- [108] Alonso Renedo S., Pascual del Rio A., Incollingo M. FOTON-12 Connectivity Requirements Implementation // ESA, Technical report – 1999- January 14
- [109] RFC 2616 - Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1 - <http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>
- [110] RFC2722: Brownlee N.; Mills C.; Ruth G. - Traffic Flow Measurement: Architecture - October 1999
- [111] RIPE test box, <http://www.ripe.net/test-traffic/>
- [112] Ripeanu M., Foster L., Iamnitchi A. Mapping the Gnutella Network: Properties of Large Scale Peer-to-Peer Systems and Implications for System Design // <http://people.cs.uchicago.edu/~matei/PAPERS/ic.ps>
- [113] Shi W., Wright R., Collins E., Karamcheti V. Workload Characterization of a Personalized Web Site - And Its Implications for Dynamic Content Caching // 7th Workshop on Web Content Caching and Distribution (WCW7) - Boulder, Colorado, August 2002
- [114] Sripanidculchai R. The popularity of Gnutella queries and its implications on scalability // February 2001 - <http://www-2.cs.cmu.edu/~kunwadee/research/p2p/gnutella.html>
- [115] Symanovsky E.A., Sukhov A.M., Yumashev V.L. Samara segment of regional telecommunication network // Reports, Advanced NATO Workshop “Digital Networking in Middle Volga Region” - Samara, May 1998 - p. 11-16
- [116] Sukhov A. Review of telecommunications in Samara Region // Reports, Advanced NATO Workshop “Digital Networking in Middle Volga Region”, Samara, May 1998 - p. 19-21

- [117] Sukhov A., Flow measurement // 9th TF-NGN Meeting (TERENA) - Budapest, Hungary October 17-18, 2002
- [118] Sukhov A., Calyam P., Daly W., Iliin A., Network requirements for high-speed real-time multimedia data streams // Book of abstracts, Internet. New Generation - IPv6, Moscow, 2004 - pp. 28-33
- [119] Sukhov A., Calyam P., Daly W., Iliin A. Towards an Analytical Model for characterizing behavior of High-Speed VVoIP applications // Selected paper from TERENA Networking Conference 2005, "The world of pervasive networking" - Poznan', Poland, ISBN 9077559094, опубликована в Computational Methods in Science and Technology – 2005 - 11(2) - p. 161-167
- [120] Sukhov A., Daly W., Afanasiev F., Petrov A. Flow-based analysis of Internet traffic // in Computer Networking and Networks - ISBN: 1-59454-830-7 - Nova Science Publ., 2006 – p. 99-113
- [121] Tang H., Duan L., Li J. A performance monitoring architecture for IP videoconferencing IP Operations and Management //, 2004. Proceedings IEEE Workshop on Volume –2004 - Issue , 11-13 Oct. 2004 – p. 48 - 54
- [122] Venkataramani A., Yalagandula P., Kokku R., Sharif S., Dahlin M. The potential costs and benefits of long-term prefetching for content distribution // 6th International Workshop on Web Caching and Content Distribution - Boston, USA June 2001
- [123] Vietsch K. and Williams D. The SERENATE Project // TERENA 2003, Zagreb, May 2003
- [124] Wallerich J., Dreger H., Feldmann F., Krishnamurthy B., Willinger W. A methodology for studying persistency aspects of internet flows // ACM SIGCOMM Computer Communication Review –2005 - v.35 n.2
- [125] Wang J., Li L., Sun F., Zhou M. A probability-guaranteed adaptive timeout algorithm for high-speed network flow detection // Computer Networks –2005- Volume 48, Number 2 - p. 215-233

- [126] Wolman A., Voelker G., Sharma N., Cardwell N., Karlin A., Levy H. On the scale and performance of cooperative Web proxy caching // Operating Systems Review 1999 - 34(5) - p.16-31
- [127] Yu J., Petropulu A, Sethu H. Rate-limited EAFRP-a new improved model for high-speed network traffic // IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING –2005 - VOL. 53, NO. 2
- [128] Zipf G.K. Relativity frequency as a determinant of phonetic change // Reprinted from the Harvard Studies in Classical Philology, Vol. XL, 1929
- [129] Zhu Y. A Survey of Network Requirements to Support Current and Future Data Streams // CS 7001 Introduction to Graduate Studies Mini-project 1, Fall 2000



**Российская академия  
КОСМОНАВТИКИ  
имени К.Э.Циолковского  
Самарский филиал**

443086, Самара, ул. Гая 45;

e-mail: acad@ssau.ru

факс: (846) 992-65-10 тел: (846) 267-44-44

**Утверждаю**

Вице-президент Российской академии космонавтики,  
директор Самарского филиала  
д.т.н., профессор,  
Заслуженный деятель науки и техники РФ

*В.П. Балакин*

Балакин В.П.



**АКТ**

об использовании результатов диссертационной работы  
Сухова Андрея Михайловича  
в Самарском филиале Российской академии космонавтики

Комиссия в составе заместителя директора д.т.н., профессора Белоконова И.В. и членов комиссии – научных сотрудников Собода С.А., Крамлих А.В. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ ТРАФИКА», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в научно-исследовательской деятельности Самарского филиала Российской академии космонавтики в виде

- сетевого узла передачи данных на базе оптико-волоконного кабеля связи, являющегося частью наземного центра пользователей информации с космических аппаратов «Фотон» (программно-аппаратного комплекса по приемке, обработке и передаче конечным потребителям телеметрической информации с борта космических аппаратов типа «Фотон»/«Бион»);
- станции спутниковой связи, позволяющей организовать высокоскоростной двухсторонний обмен данными с зарубежными партнерами;
- видео конференций, проводимых в рамках сотрудничества с зарубежными партнерами.

Все это позволило организовать передачу зарубежным партнерам – постановщикам научных экспериментов - телеметрической информации с космических аппаратов «Фотон» №12, «Фотон-М» №2. Результаты использовались при выполнении работ по межправительственным контрактам с Евросоюзом (ЕКА), дополнительная поддержка была оказана посредством гранта НАТО (CN.NIG.960542) на создание экспериментального спутникового Интернет канала в Самаре, полученного специалистами ЕКА, Брюссельского университета и Самарского филиала Российской академии космонавтики.

Председатель комиссии

*И.В. Белоконов*  
*С.А. Собода*  
*А.В. Крамлих*

И.В.Белоконов

Члены комиссии

С.А.Собода

А.В.Крамлих

Утверждаю  
Ректор Самарского государственного  
экономического университета  
профессор д.т.н. Жабин А.П.



АКТ

об использовании результатов диссертационной работы  
Сухова Андрея Михайловича  
в Самарском государственном экономическом университетей

Комиссия в составе председателя комиссии: проректора по информатизации СГЭУ, профессора, д.п.н. Абросимова А.Г.; членов комиссии: зам. начальника информационно-вычислительного центра Ганичкина О.В., начальника учебного центра информационных технологий Сушкова А. Г. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА И СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в деятельности Самарского государственного экономического университета в виде системы интернет телевидения с проведением следующих работ:

- проведения системы измерений по изучению качества интернет соединений
- инсталляции рефлектора в локальной сети СГЭУ как части наложенной системы мультикастинговой рассылки
- подготовке внутренней инфраструктуры для проведения прямых интернет трансляций и просмотра программ интернет телевидения
- тестовая трансляция программ, произведенных в студии СГЭУ, по научно-образовательному телеканалу.

Построенная система интернет телевидения применяется в учебно-воспитательном и научно-исследовательском процессе для трансляции материалов ведущих российских и международных конференций, концертов художественной самодеятельности и т.д. Результаты выполнялись согласно договору о сотрудничестве по внедрению системы интернет-телевидения.

Председатель комиссии  
Члены комиссии

А.Г. Абросимов  
О.В. Ганичкин  
А.Г. Сушков