

СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

УДК 621.391+681.3.06

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В.В. Баринов, профессор МИЭТ, д.т.н.

А.В. Смирнов, аспирант МИЭТ

Введение. При проектировании и модернизации информационно-телекоммуникационных сетей (ИТС) для рационального выбора стратегий приходится решать множество задач, среди которых:

- оптимизация производительности (задержка передачи, пропускная способность и т. д.);
- гарантирование необходимой производительности до принятия решения о покупке оборудования;
- оценка влияния «локальных» изменений на производительность всей сети;
- выявление узких мест в системе до ввода в эксплуатацию;
- минимизация затрат;
- сокращение времени разработки системы;
- возможность учета трафика в сети.

В результате собираются статистические данные о наиболее важных характеристиках сети: времени реакции, коэффициентах использования каналов и узлов, вероятности потерь пакетов и других, определяющих выбор конфигурации ИТС и спецификации необходимого оборудования.

Необходимость предварительного моделирования ИТС и его основные преимущества связаны с:

- изучением работы системы и ее модификаций на стадии проектирования без построения реальной системы (или прототипа). При этом появляется возможность сравнивать различные варианты планирования и сэкономить средства на приобретении оборудования;
- возможностью сравнения поведения системы при воздействии различных факторов;
- изменением скорости смены событий при моделировании в исследуемой системе от реального масштаба времени до темпа работы программы. В результате за несколько минут можно воспроизвести функционирование сети в течение нескольких дней, что дает возможность оценить ее в широком диапазоне варьируемых параметров.

Выбор программной среды. Модели вычислительных сетей воспроизводят процессы: генерации сообщений приложениями; разбиения сообщений на пакеты стандартных протоколов; задержки, связанные с обработкой сообщений, пакетов и кадров внутри операционной системы; получения доступа компьютером к разделяемой сетевой среде; обработки поступающих пакетов маршрутизатором и т. д. Поэтому при моделировании, как правило, рассчитываются следующие параметры:

- пропускная способность,
- сквозная задержка,
- задержка между двумя точками в сети,
- количество пакетов в буферах устройств,
- коэффициент использования каналов связи,
- вероятность разрыва соединения,
- вероятность разрыва телефонного соединения во время хэндовера,
- вероятность коллизии.

Существуют различные программные среды для моделирования телекоммуникационных сетей. Многие из них разработаны для исследования определенных задач — конкретных сетей или протоколов. Наиболее популярные универсальные программы моделирования ИТС — это *OPNET* и *NS-2* [1, 2], высокоэффективные инструменты проектировщиков сетей.

Пакет *NS-2* является бесплатным проектом, широко применяемым для разработок и исследований в высших учебных заведениях [3, 4]. Однако этот симулятор довольно труден для изучения, поскольку в нем отсутствует удобный графический пользовательский интерфейс, а для описания моделей используется нестандартный скриптовый язык *TCL*.

Напротив, *OPNET* — это гибкий и наглядный инструмент, один из лучших сетевых симуляторов не только для обучения, но и для разработок и исследований. *OPNET* используют более 500 различных компаний по всему миру — провайдеры Интернет-услуг, правительственные организации, производители телекоммуникационного оборудования, вузы.

Рассматриваемый продукт содержит несколько редакторов для разработки библиотек моделируемых систем. Редакторы (сети, узла, процессов, антенн, модуляции, среды передачи и др.) организованы в иерархической форме. Каждый уровень иерархии описывает различные аспекты полной модели. Модели, созданные на одном уровне иерархии, используются (или наследуются) моделями на следующем уровне. Это приводит к высокой гибкости применения общих моделей в различных сценариях моделирования. Все приведенные в данной работе исследовательские задачи выполнены с помощью программы *OPNET*.

Пример моделирования видеоконференций в корпоративной сети. На рис. 1 представлена топология моделируемой сети вуза [5]. Сеть построена на основе коммуникационного оборудования *HP ProCurve*. Центральный маршрутизатор *HP ProCurve 5412* объединяет коммутаторы, расположенные в раз-

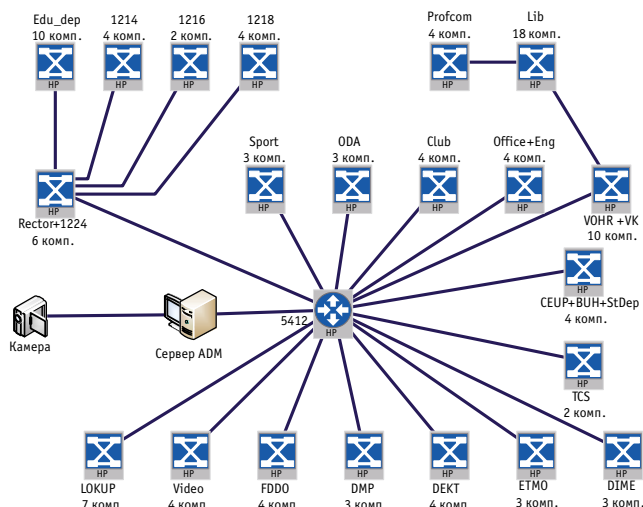


Рис. 1

личных подразделениях института, с помощью гигабитных магистральных каналов. Рабочие станции подключаются к коммутаторам. Среднесуточная загрузка магистральных каналов не превышает 5–10%.

По данной сети можно организовать видеоконференции с помощью IP камеры, подключенной к серверу (на рис. 1 — *ADM*), для различных подразделений института и кафедр. При этом видеопоток, формируемый камерой, составляет около 4 Мбит/с.

Цель моделирования [6] — оценка пропускной способности наиболее нагруженных магистралей сети и получение дальнейших рекомендаций по оптимизации или замене коммуникационного оборудования. Моделирование проводили и для наиболее сложного режима, при котором почти все пользователи (более 100 компьютеров) пытаются забрать видеопоток с сервера.

Простой анализ показывает, что самым нагруженным оказывается канал между сервером и маршрутизатором (рис. 1). Обычно такие каналы создают с некоторым «запасом», но при большой нагрузке предсказать насколько он будет загружен сложно из-за разнородности трафика и его пульсирующего характера. Учитывая тип передаваемого в данном случае трафика, предположим, что загрузка канала не превысит 50% (около 100 пользователей и поток в 4 Мбит/с) от его общей пропускной способности.

Как показали результаты моделирования (рис. 2), средняя загрузка канала между сервером и маршрутизатором (*a*) действительно не превышает 50% (около 400 Мбит/с) от максимальной, что соответствует норме и не требует переконфигурации сети.

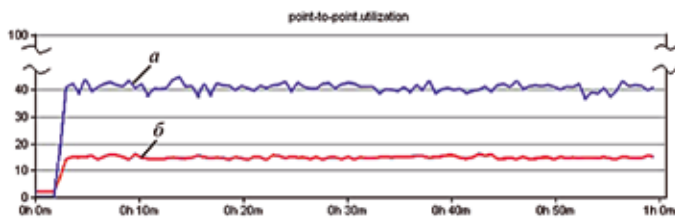


Рис. 2

Следующим шагом оценим загрузку магистральных каналов, к которым подключено больше всего пользователей (на рис. 1 это коммутаторы *VOHR+VK* и *Rector+1224*). На рис. 2 показана загрузка каналов связи между маршрутизатором и *VOHR+VK* (*б*). В соответствии с результатами моделирования (загрузка канала между маршрутизатором и *Rector+1224* имеет схожий характер и не превышает 10%) загрузка данных каналов связи не превышает 10–20%, что позволит при необходимости увеличить число пользователей до 5 раз без ущерба для производительности сети. Отметим, что по расчету нагрузка находится в прямой зависимости от числа подключенных пользователей и примерно постоянна (без выявления пульсирующего трафика).

Таким образом, предварительное моделирование сети с новым сервисом, а именно организацией видеоконференций, показало, что данная сеть в текущей ее конфигурации безусловно справится с нагрузкой и сможет обслуживать свыше 100 пользователей. При этом существует возможность подключить дополнительно до 20–30 пользователей к видеоконференции (без переконфигурации сети). А, учитывая резерв по пропускной способности каналов связи, остальные пользователи, не подключенные к конференции, смогут без ограничений пользоваться другими сервисами сети, например, *WEB*, *FTP* и *E-mail*.

Задача моделирования VoIP в сети провайдера. Рассмотрим топологию гетерогенной сети для организации Интернет-услуг в небольшом городе (рис. 3). Данная сеть широкополосного беспроводного доступа предназначена для организации доступа корпоративных клиентов (*Node_n*) в Интернет. В проекте предполагалось использование базовых и абонентских станций в диапазоне частот 5 ГГц. Базовые станции (*BS_n*) будут использоваться для подключения нескольких абонентских (*SS_n*) станций (жилые дома, пользователи). Для этого на *BS_n* предусмотрено применение секторных антенн. Интерфейс беспроводных устройств работает на основе стандарта 802.11 с максимальной скоростью 54 Мбит/с.

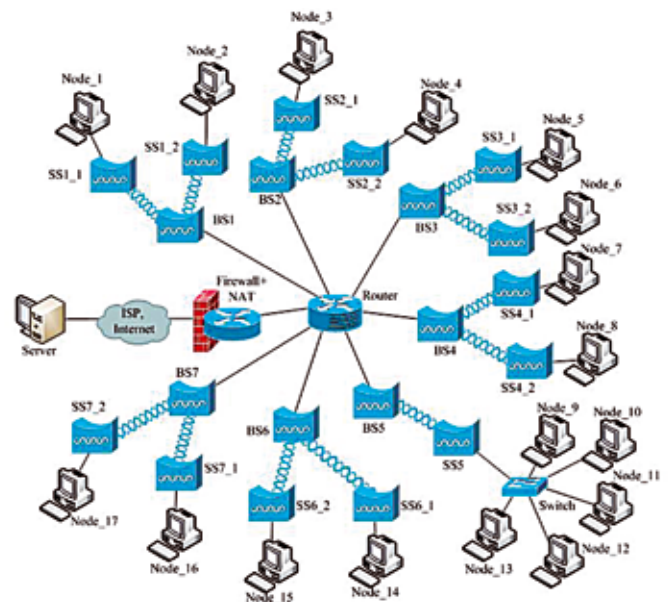


Рис. 3

Для организации центрального узла связи предварительно выбрано следующее коммуникационное оборудование:

- маршрутизатор *Cisco 7200* серии (на рис. 3 обозначен как *Router*) служит для объединения всех базовых станций в единую сеть с помощью каналов с пропускной способностью 100 Мбит/с и сбора статистики по использованию трафика пользователями. К маршрутизатору подключены серверы биллинга и *DNS*;
- маршрутизатор *Cisco 2811* с интерфейсным модулем *E1* (обозначен как *Firewall + NAT*) для подключения потока *E1*. Данный маршрутизатор принимает поток *E1* от вышестоящего провайдера, а также применяется в качестве брандмауэра;
- коммутатор *Cisco Catalyst 2950* (обозначен как *Switch*) предназначен для объединения пользователей, находящихся в одном офисе.

Предполагается, что скорость доступа клиентов в Интернет будет в диапазоне от 128 кбит/с до 1 Мбит/с. Для упрощения моделирования все сервисы расположены на удаленном сервере (*Server*).

Еще до начала моделирования можно заметить, что наиболее критичным участком проектируемой сети станет канал связи *E1* между брандмауэром и вышестоящим Интернет-провайдером. Из-за низкой пропускной способности этого участка в сети могут возникнуть проблемы, а при передаче звуковой информации следует оценить задержку. Также требует внимания маршрутизатор *Cisco 2811*, выполняющий функции брандмауэра и *NAT*. Его производительность равна всего 64 Мбит/с. Число подключенных станций к коммута-

тору может со временем увеличиться, поэтому необходимо промоделировать нагрузку беспроводного канала между *BS5* и *SS5_1*.

Характеристики сети и возможные модификации. Требуемые сервисы описаны в среде моделирования следующими параметрами:

- *Web*-служба моделировалась с использованием спецификации протокола *HTTP* 1.1. Средний размер запрашиваемой *HTTP*-страницы принимался равным 10 кбайт, количество картинок среднего размера — 14. Интервалы времени между запросами *web*-страниц имеют экспоненциальное распределение с параметром $a = 10$;

- почтовая служба моделировалась с помощью протоколов *SMTP* и *POP3*. Временные интервалы между запросами о получении и принятии почты распределены по экспоненциальному закону с параметром $a = 360$. Количество отправляемых или получаемых в среднем за один раз писем принималось равным 3. Средний размер письма установлен равным 2 кбайт;

- *FTP*-служба моделировалась на основе протокола *FTP*. Размер скачиваемых и закачиваемых файлов имеет непрерывное равномерное распределение в интервале [20, 700] Мбайт. Соотношение между входящим и исходящим *FTP*-трафиком — 50%. Интервалы между запросами имеют экспоненциальное распределение с параметром $a = 180$;

- сервис *VoIP* моделировался с использованием стандарта *G.711* для аудио компрессирования. Длительность разговора имеет равномерное распределение в интервале [120, 150] с, а интервалы между вызовами — экспоненциальное распределение с параметром $a = 300$.

Первоначально моделирование сети проводилось с конфигурацией, показанной на рис. 3. При этом полученные по расчету значения для сквозной задержки передачи звуковой информации в сети при использовании канала *E1* (рис. 4) не соответствуют стандарту *ETSI* для организации хорошего качества голосовой связи.

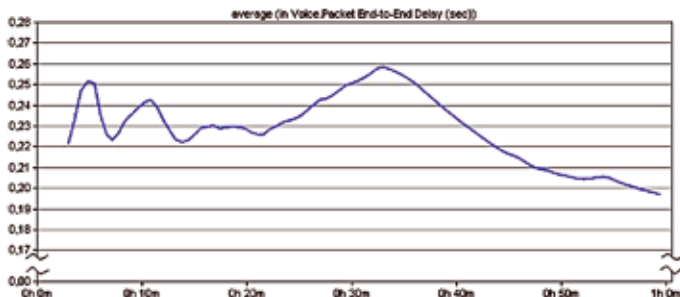


Рис. 4

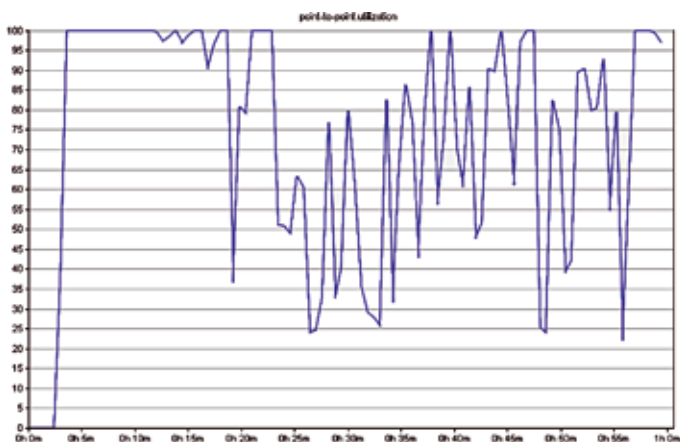


Рис. 5

Была проведена оценка производительности критичного участка сети, включающего маршрутизатор *Cisco* 2811 и канал *E1* (рис. 5). Исходя из полученных для *E1* результатов, необходимо либо расширить канал, либо ввести сервис — качество обслуживания (*QoS*), что, в свою очередь, приведет к увеличению нагрузки на маршрутизатор и потребует его замены.

После введения услуг *QoS* сквозная задержка передачи звуковой информации при использовании канала *E1* стала соответствовать стандарту *ETSI* (рис. 6).

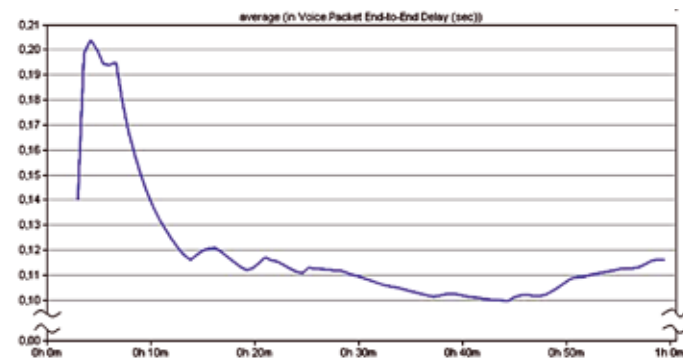


Рис. 6

Замена канала связи *E1* на *E3* позволила бы и без использования сервиса *QoS* уменьшить сквозную задержку передачи звуковой информации в сети. Канал *E3* загружен незначительно (на 15—20%, как показано на рис. 7), что позволяет либо увеличить число пользователей, либо ввести новые сервисы.

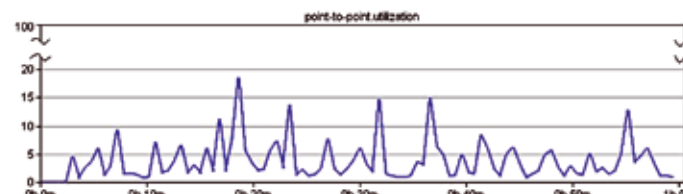


Рис. 7

С точки зрения *web*-сервиса наименьшее время отклика *HTTP*-страниц обеспечивается при использовании канала связи с большей пропускной способностью (рис. 8, *a* — канал *E1*, *b* — канал *E3*).

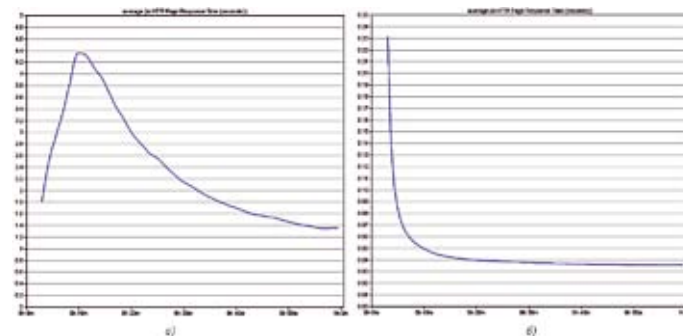


Рис. 8

Стоит обратить внимание на нагрузку канала связи между *BS5* и *SS5_1*, так как к абонентской станции подключен коммутатор, к которому может быть подключены дополнительные пользователи. Результаты показывают, что в действительности канал загружен очень мало и поэтому без проблем может выдержать намного больше пользователей. При этом

увеличение числа пользователей с 5 до 11 привело к возрастанию нагрузки канала всего до 1 Мбит/с.

Отказоустойчивость и экономическая эффективность. Как показали результаты моделирования, первоначальная топология сети не обладает модульной архитектурой и не предусматривает дополнительных каналов связи, что отрицательно сказывается на отказоустойчивости ее архитектуры. Если по каким-либо причинам выходит из строя любой из двух маршрутизаторов, сеть становится неработоспособной. К тому же нагрузка на маршрутизатор Cisco 2811 достаточно большая, в результате чего при небольшом увеличении количества пользователей или введении новых сервисов потребуются замена его на более производительное оборудование. Поэтому ниже предлагается усовершенствованная топология сети, обеспечивающая требуемую отказоустойчивость и масштабируемость сети на основе оборудования Cisco 3825 и Cisco 3560.

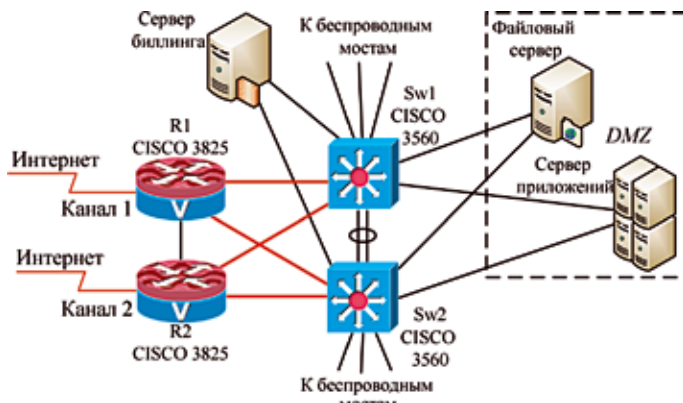


Рис. 9

Как следует из результатов моделирования, преимуществами предложенной топологии (рис. 9) являются:

- отказоустойчивость (достигается с помощью резервирования сетевого оборудования);
- масштабируемость (позволяет подключать намного больше сетевых устройств к ядру сети, и соответственно увеличивать количество подключенных пользователей);
- пропускная способность возросла в несколько раз по сравнению с первоначальной топологией (см. рис. 3);
- снижение затрат на организацию сети (первоначальная топология с использованием оборудования Cisco 2811 и Cisco 7201 имела приблизительную стоимость 450 тыс. рублей, а топология с применением 2×Cisco 3825 и 2×Cisco 3560 приблизительно стоила 380 тыс. рублей);
- возможность организации запасного (дополнительного) Интернет-канала.

Рассмотрим результаты расчетов для новой топологии сети. Загрузка процессоров (рис. 10) обоих маршрутизаторов Cisco 3825 сравнительно небольшая, в среднем — 20%. Даже если произойдет отказ какого-либо маршрутизатора, сеть останется работоспособной.

Учитывая небольшую нагрузку на маршрутизаторы, можно организовать дополнительные сервисы. Например, некоторые версии операционной системы (IOS) маршрутизатора Cisco 3825 могут поддерживать функцию CallManager Express для организации IP-телефонии на основе данного маршрутизатора без дополнительного программного и аппаратного обеспечения. Первоначальное оборудование тоже подразумевало такую функцию, но ввиду большой нагрузки организация подобного сервиса была бы невозможна.

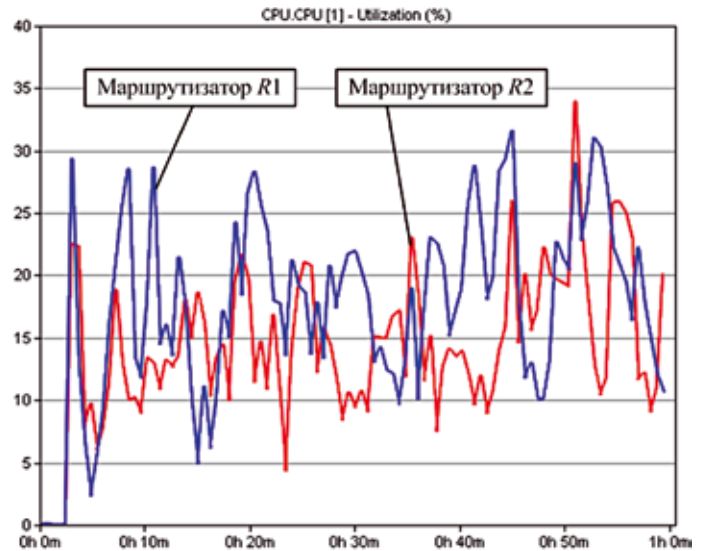


Рис. 10

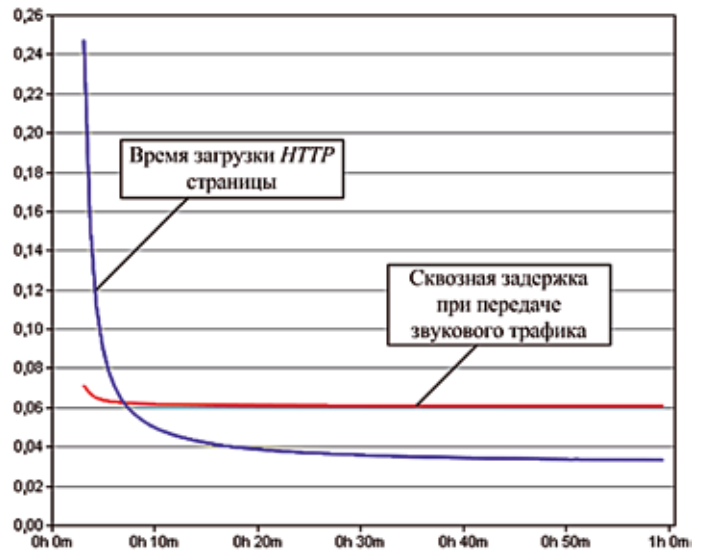


Рис. 11

Загрузка каналов связи E3 не выходит за пределы 5–10%. Это очень маленькая нагрузка, поэтому можно использовать только один канал связи, а второй оставить резервным.

Незначительная нагрузка на каналы связи обеспечивает довольно быструю загрузку WEB-страниц и маленькую задержку при передаче голосового трафика (рис. 11). При моделировании сети исходной топологии таких результатов удавалось добиться только после внедрения дополнительного сервиса QoS.

Информацию о сетевом трафике, проходящем через маршрутизаторы, получаем с помощью протокола Netflow. Это специализированный, но открытый протокол, изначально разработанный компанией Cisco для своего оборудования с целью централизованного сбора информации о сетевом трафике. На сервере биллинга для этого необходимо установить сертифицированное программное обеспечение для хранения и обработки данной информации, на основе которой можно осуществлять контроль за пользователями, адресами назначения и расходом Интернет-трафика в финансовом эквиваленте.

Заключение. Сетевое моделирование является высокоэффективным инструментом при проектировании сложных ИТС и позволяет системным интеграторам и провайдерам

услуг выявить «узкие места» проекта еще до приобретения оборудования. В статье в качестве примера рассмотрены результаты моделирования двух разных сетей передачи данных — сети провайдера и корпоративной сети (сети вуза).

Предварительное моделирование сети провайдера позволяет искать узкие места или оборудование с высокой нагрузкой в проектируемой сети и сравнивать производительность различных топологий сетей на основе разного оборудования в совокупности с экономической эффективностью. Таким образом можно получить выигрыш не только в производительности, но и в рациональном использовании вкладываемых в организацию сети средств.

Моделирование существующей сети вуза позволило оценить нагрузку на каналы связи после организации видеоконференции и определить количество пользователей, которые могут подключиться к конференции без утраты работоспособности сети, продемонстрировало возможности других

пользователей по одновременному использованию стандартных сервисов типа *WEB* и *E-mail*.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Schilling B.** Qualitative Comparison of Network Simulation Tools / University of Stuttgart, 2005.
2. **Begg L., Liu W., Pawlikovski K., Perera S. and Sirisena H.** Survey of simulators of next generation networks for studying service availability and resilience / University of Canterbury, 2006.
3. **Taekyu K.** DEVS-NS2 environment; an integrated tool for efficient networks modeling and simulation / The University of Arizona, 2006.
4. **Hong T. C., Chee W. T. and Budiarto R.** Experiences with the NS Simulator. IEEE-NS2 Network Simulation Workshop / University Putra Malaysia, 2004.
5. **Букин М.** Модернизация инфраструктуры в МИЭТе // PC-Week. — 2007. — № 46.
6. <http://www.opnet.com/>

Получено 22.05.08
