

УДК 621.39

## КАЧЕСТВЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РОСТА СЕГМЕНТОВ СЕТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ

А.Г. КОСТЮКОВСКИЙ

Высший государственный колледж связи  
П. Бровки, 14, Минск, 220027, Беларусь

Поступила в редакцию 21 октября 2015

Получены оценки качества каналов электросвязи, которые при смешанной нагрузке в первом приближении позволяют по-новому оценивать рост сети электросвязи путем сопоставления между собой мощности сети в сегменте с коммутацией каналов и мощности сети в сегменте с коммутацией пакетов в единицах  $\frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}$ . Такое сопоставление ориентирует операторов связи, в какой сегмент сети необходимо в первую очередь направлять капитальные вложения на ее развитие; и как это развитие сопоставить с тарифными планами, отображающими качество конкурирующих услуг связи.

*Ключевые слова:* каналы электросвязи, рост сети, мощность сети, показатели роста сети, дисциплины обслуживания, качество услуг связи, конкурирующие услуги связи.

### Введение

Одним из основных показателей роста сети до недавнего времени являлся показатель обслуживаемых и вновь введенных в эксплуатацию канало-километров. Данный показатель роста сети отражал увеличение объемов обслуживания аналоговых абонентов телефонной сети общего пользования – Public Switched Telephone Network (PSTN).

С увеличением доли трафика по передаче данных вышеуказанный показатель роста сети в канало-километрах перестал отражать реальное положение дел, потому что нагрузка стала смешанной. Смешанная нагрузка обслуживается согласно разным дисциплинам обслуживания. Речевой трафик обслуживается с потерями, а пакеты данных обслуживаются с запаздыванием.

Более того, развертывающееся объединение (конвергенция) широкополосных приложений, исходящих от потребителя, и существование номерной емкости с высокой пропускной способностью в опорной сети дальней связи (международных и межконтинентальных сетях) способствовало установлению повсеместного значительного информационного давления на границы сетей Метро.

Другими словами, инфраструктура городской [вычислительной] сети – Metropolitan Area Network (MAN) отставала от совершенствования сетевой инфраструктуры локальной вычислительной сети (ЛВС) – Local-Area Network (LAN) и глобальной [вычислительной] сети – Wide Area Network (WAN). Обе сети – как LAN, так и WAN, выполнили значительное повышение производительности в полосе частот канала, в то время как MAN оставалась без изменений.

На рис. 1 иллюстрируется проблема перегрузки в сети MAN [1]. Присоединения MAN главным образом были ограничены каналами DS-1 (обслуживающими потоки T1 со скоростью передачи 1,5 Мбит/с), или частными линиями DS-3 (обслуживающими потоки T3 со скоростью передачи 45 Мбит/с), которые использовали технологию время-разделенного мультиплексирования – Time division multiplexing (TDM). Для многих потребителей поток T1 не обеспечивал достаточной пропускной способности, а канал DS-3 был слишком дорог.

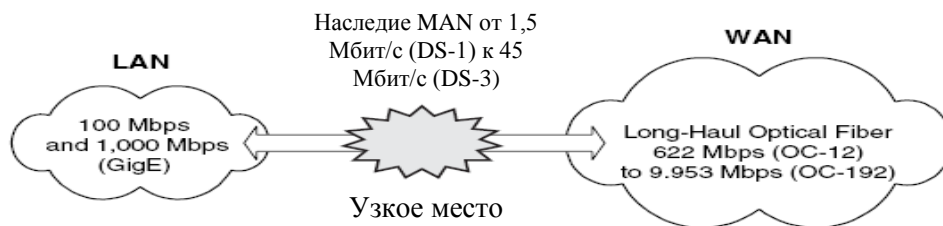


Рис. 1. Сеть MAN как узкое место в сети PSTN

Из-за вышеуказанных ограничений предлагаемых услуг, узким местом в сети теперь стал доступ (и ядро) сетей Метро. Новое поколение оптического метро доступа и технологий транспортировки, как например, Гигабит Ethernet (GigE), обещает расширить это узкое место между конечными пользователями и магистральным ядром сети. Архитектура сети Метро общего пользования должна совершенно измениться, если понемногу расширять самое последнее узкое место в сквозной сети.

Таким образом, с переходом от аналоговых к цифровым методам передачи в сетях связи стали развиваться и новые технологии телекоммуникаций. Изменился и показатель обслуживания каналов связи. Он стал исчисляться в основных цифровых каналах (ОЦК) или Digital Service / Signal of level 0 (DSO) со скоростью передачи сигналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) – 64 кбит/с в полном соответствии с рекомендацией Международного Союза Телекоммуникаций (МСТ – International Telecommunication Union – ITU-T) – Rec. G.711 ITU-T. Однако по ходу реализации технологии Ethernet доля трафика передачи данных достигла 40 % (США, 2002 г.) [1], и вновь возникла задача переоценки мощности сети электросвязи уже при смешанной нагрузке в сегментах сетей передачи речи и данных.

#### Методика измерения трафика пакетного режима в единицах телефонной нагрузки в Эрлангах

С увеличением объемов телефонного (речевого) трафика показатель обслуживания каналов стал измеряться в первичных цифровых каналах плездохронной иерархии цифровых систем (европейский стандарт для волоконно-оптических сетей) – Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) (в Европе – E1 (30 DSO), в США и Японии – DS1 (24 DSO)) и в третичных цифровых каналах (в Европе – E3 (480 DSO), в США – DS3 (672 DSO), в Японии – DSJ3 (480 DSO)). Затем с увеличением доли трафика передачи данных, этот показатель начинает измеряться в синхронных транспортных сигналах оптических несущих первого уровня OC1 (672 DSO) и третьего уровня OC3 (1916 DSO) американской синхронной цифровой иерархии SONET. Наряду с ними показатель обслуживания каналов начинает измеряться и в синхронных транспортных модулях STM-1 (1920 DSO) первого уровня европейской синхронной цифровой иерархии SDH [2, 3].

Характерно, что новый показатель обслуживания каналов связи уже не учитывал протяженность линий связи. Произошло «замыкание» трафика, когда оператор связи начинает обслуживать абонентов по льготному тарифу без учета протяженности и направления междугородной и международной связи в погоне за ростом абонентской базы, и тариф на услугу телефонной связи перестал учитывать протяженность и направление междугородной и международной связи.

Сравним возможности конкурирующих технологий: иерархии PDH, асинхронного режима передачи ATM – Asynchronous Transfer Mode (стандартизованная ITU технология коммутации пакетов фиксированной длины; является асинхронной в том смысле что пакеты от отдельных пользователей передаются аperiодически; обеспечивает эффективную передачу различных типов данных (голос, видео, multimedia, трафик ЛВС) на значительные расстояния) и технологии Ethernet. Речевой канал DSO (ОЦК) пропускает за интервал времени  $T_d = 125$  мкс 8 бит (1 байт), ячейка ATM содержит 53 байта (48 байтов – информации, 5 байтов – заголовок), в то время, когда поле полезной нагрузки пакета данных IP/MPLS (Internet Protocol / Multiprotocol Label Switching – многопротокольная коммутация меток; спецификация MPLS,

которая дает возможность направлять сетевой трафик по определённым виртуальным каналам, коммутируя IP-пакеты) по технологии Ethernet может содержать от 64 до 1518 и более байтов. С одной стороны, становится ясным, что использование речевых В-каналов (информационных ОЦК в иерархии PDH) и ячеек ATM для передачи данных будет невыгодным, поскольку технология Ethernet масштабируется с полосой по требованию. С другой стороны, в технологии Ethernet передача речевых пакетов в реальном масштабе времени еще затруднена (требует высокой квалификации пользователя). Однако сравнивать объемы предоставляемых услуг по передаче речи и по передаче данных по-прежнему необходимо и вновь возникает потребность считать трафик в единицах телефонной нагрузки в Эрлангах.

Для перевода трафика пакетного режима передачи речевых сигналов и данных в единицы телефонной нагрузки в Эрлангах рекомендуется следующая методика.

Во-первых, полагаем, что согласно регламенту связи в рамках соглашения об уровне обслуживания SLA (Service Level Agreement – соглашение об уровне услуг [сервиса]; соглашение между поставщиком услуг доступа (оператором связи) и пользователем о количественных и качественных характеристиках предоставляемых услуг, таких как доступность магистральной, поддержка пользователей, время исправления неисправности и т.д.) на магистральных линиях связи развернута схема управления потоком, где задействованы два основных механизма. Этими двумя фундаментальными механизмами управления потоком являются: проверка входящего (исходящего) трафика (Policing – охрана порядка) и, если необходимо, адаптация исходящего трафика (Shaping – профилирование).

Во-вторых, если механизмы управления потоком развернуты по всей сети, то некоторый пакет или источник данных поддерживает соглашение SLA, оговоренное выше, а в итоге может быть определено еще качество услуги QoS, оказанной пакету. Где QoS – Quality of Service – качество и класс предоставляемых услуг передачи данных (обычно описывает сеть в терминах задержки, полосы и дрожания сигнала). Оба механизма управления потоком (охрана порядка и профилирование) используют в некотором пакете транспортные дескрипторы, указывающие классификацию пакета, чтобы гарантировать верность передачи и услуги. При этом исходящие потоки начинают подчиняться свойству марковости, что позволяет, в свою очередь, классифицировать исходящие потоки как пуассоновские. Свойство марковости – потеря памяти. Для марковских процессов будущее не зависит от прошлого, будущее определяется только текущим настоящим. Пуассоновские же потоки – это поступающие в сеть электросвязи требования на обслуживание, которые распределяются экспоненциально.

В-третьих, так как телефонная нагрузка по вызовам при пуассоновском потоке вызовов определяется как

$$a = \lambda \cdot h, \text{ [Эрл]}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – частота поступления пакетов, [пак /с];  $h = l_{\text{пак}} / v$  – среднее время обслуживания (передачи) одного пакета, [с /пак];  $l_{\text{пак}}$  – средняя длина одного пакета, [бит/пак];  $v$  – скорость передачи, [бит/с],

то положим ее равной телефонной нагрузке по времени.

В-четвертых, тогда произведение телефонной нагрузки в единицах Эрлангов на час занятия ( $ч-з$ ) в час наибольшей нагрузки (ЧНН) установит емкость пучка соединительных линий (СЛ)  $s$  при заданном качестве обслуживания:

$$s = (a \cdot \text{ЧНН} / \text{ч-з}) (1 - P) / \eta, \quad (2)$$

где  $P$  – скорость потерь пакетов (вероятность блокировки);  $\eta$  – к.п.д. линии или занятие.

В-пятых, из выражения (2) определяем мощность сети Ethernet передачи данных в канало-километрах [4] при заданном качестве  $P$ :

$$D = \sum_{\forall i,j} s_{ij} l_{ij}, \text{ [канало-километры]}, \quad (3)$$

где  $l_{ij}$  – длина ребра графа сети. [км]

## Численный эксперимент

Рассмотрим два числовых примера, соответственно, для сегментов сети передачи данных и речи.

*Пример 1.* Рассчитаем мощность сегмента сети передачи данных. Пусть средняя длина пакета  $l_{\text{пак}} = 1518$  байтов, скорость передачи в линии связи Fast Ethernet составляет  $v = 100$  Мбит/с. Тогда среднее время обслуживания (передачи) пакета (1) составит

$$h = \frac{1518 \text{ байтов} \cdot 8 \text{ бит} \cdot \text{с}}{\text{пак} \cdot 100 \cdot 10^6 \text{ бит} \cdot \text{байт}} = 121,44 \frac{\text{мкс}}{\text{пак}}.$$

При частоте поступления пакетов  $\lambda = 1600$  пак/с телефонная нагрузка определится как

$$a = \frac{1600 \text{ пак} \cdot 121,44 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{\text{с} \cdot \text{пак}} \approx 0,1943 \text{ Эрл}.$$

С учетом коэффициента использования канала  $\rho = 0,2$  при скорости потерь пакетов  $P = 7,53 \cdot 10^{-9}$  рассчитаем емкость пучка СЛ (2):  $s = [0,1943 \text{ Эрл} (1 - 7,53 \cdot 10^{-9}) / 0,2] = 1$ , тогда мощность сети Ethernet (топология по схеме точка-точка) при  $l = 10$  км составит (3)  $D = 1 \cdot 10 \text{ км} = 10$  канало-километров.

*Пример 2.* Рассчитаем мощность речевого сегмента сети через емкость в каналах DSO.

Поток STM-1 способен перенести 1920 каналов DSO со скоростью 155,52 Мбит/с. Поскольку скорость передачи потока STM-1 больше скорости потока Fast Ethernet, то для выравнивания средних скоростей в обоих сегментах сети до 100 Мбит/с арендуем в синхронном транспортном модуле STM-1 три контейнера – С-31 (480 DSO), т.е.  $480 \text{ каналов} \cdot 3 = 1440$  каналов.

С учетом к.п.д. линии речевого трафика  $\eta = 0,75$  при потерях  $P = 0,05$  поток STM-1 реально для нашего заказа может переносить речевой трафик вышеназванного качества в  $1440 \text{ каналов} \cdot 0,75 = 1080$  каналах, случайным образом скоммутированных на поле арендуемых 1440 каналов.

Поскольку фактическая нагрузка реальных каналов составляет (пример 1) только  $a = 0,1943 \text{ erl}$ , то в реальных 1080 каналах на самом деле будет загружено только  $1080 \text{ каналов} \cdot 0,1943 \text{ Эрл} \approx 209,8$  Эрланго-каналов.

Отсюда с учетом формулы (3) мощность загруженной телефонной сети составит  $D = 209,8 \text{ каналов} \cdot 10 \text{ км} = 2098$  канало-километров.

### Анализ полученного результата

Как видно из рассмотренных выше примеров, мощность сети Fast Ethernet в канало-километрах при той же величине нагрузки и скорости передачи, что и в телефонной сети, оказалась много меньше мощности телефонной сети. Результаты оказались несопоставимыми между собой. И хотя при централизованных телефонных сетях можно искусственно завышать тариф передачи данных, возникает серьезная угроза возникновения обходных конкурирующих сетей Ethernet более дешевого трафика.

Теперь рассмотрим два вышеприведенных примера с точки зрения пропускной способности. В этом случае мощность сети рассчитаем через пропускную способность магистральных каналов связи:

$$D = \sum_{\forall i,j} C_{ij} l_{ij}, \left[ \frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км} \right], \quad (4)$$

где  $C_{ij}$  – пропускная способность ребра графа сети,  $\frac{\text{кбит}}{\text{с}}$ .

Тогда мощность сети при заданных в примерах 1 и 2 условиях с учетом формулы (4) будет следующей:

для сети PSTN  $D = 209,8 \text{ канала} \cdot 64 \frac{\text{кбит}}{\text{с} \cdot \text{канал}} \cdot 10 \text{ км} = 134\,272 \frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}$ ;

для сети Ethernet  $D = 1600 \frac{\text{пак}}{\text{с}} \cdot 1518 \frac{\text{байт}}{\text{пак}} \cdot 8 \frac{\text{бит}}{\text{байт}} \cdot 10 \text{ км} = 194\,304 \frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}$ .

Как и следовало ожидать, мощность сегмента сети PSTN оказалась меньше мощности сегмента сети Ethernet, так как сеть PSTN исторически оптимизировалась под речевой трафик.

В тоже время мощности разных сегментов сети различного трафика при размерности  $\frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}$  стали сопоставимы между собой. На рис. 2 представлена зависимость мощности сети от показателей роста сети.

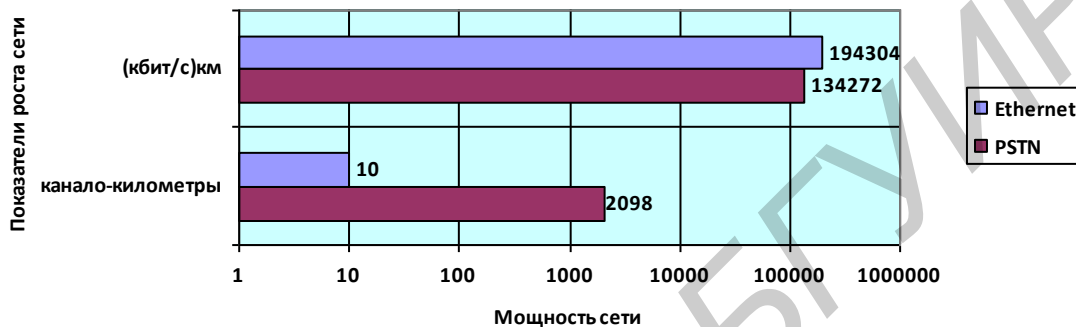


Рис. 2. Показатели роста сегментов сети с различными дисциплинами обслуживания

На рис. 2 показано, что мощность сети в сегменте с коммутацией каналов (PSTN) в показателях роста в канало-километрах больше, чем мощность сети в сегменте с коммутацией пакетов (Ethernet), по крайней мере, в 209 раз. Отсюда может показаться, что выгоднее развивать сегмент сети, которая строится согласно дисциплине обслуживания с потерями (то есть если вызов теряется, то абонент должен повторно набрать номер).

И в самом деле, график построен на основании расчетов примеров 1 и 2. Но тот факт, что расчеты показывают значительную невязку мощности сети в разных сегментах, когда объем передаваемого трафика (следует из исходных данных вышеуказанных примеров) в обоих сегментах сети задан одинаковым, приводит к ошибочному выводу. Капитальные вложения нужно вкладывать в сегмент сети с коммутацией каналов. И хотя поступающая абонентская плата за эксплуатацию сегмента сети PSTN все еще может превышать поступающую абонентскую плату за эксплуатацию сегмента сети Ethernet, на самом деле статистика будет фиксировать рост абонентской базы в сегменте сети Ethernet. Возникает противоречие.

Ошибочность такого вывода кроется в том, что показатель роста сети в канало-километрах перестал отражать фактическую мощность смешанной сети. И переход на предлагаемый автором новый показатель роста сети в единицах (кбит/с)км, как видно из рис. 2, устраняет вышеуказанное противоречие: при одинаковых исходных данных мощности в обоих сегментах сети выравниваются.

Стремительный рост скорости передачи в сети Internet вызвал высокую степень востребованности услуг связи. Ожидания среди пользователей, поставщиков и общественности достигли в настоящее время небывало высокого уровня, как новой фазы развития цивилизации – Глобального Информационного Общества (ГИО), где главными продуктами производства становятся информация и знания [5]. Именно поэтому сеть Internet постоянно изменяет границы дальней связи. Ее абсолютный объем и растущее значение в бизнесе означает, что совместимые технические стандарты и установившаяся практика должны быть введены в эксплуатацию в глобальных масштабах.

Таким образом, сети доступа становятся все более широкополосными, и полученная в данной статье оценка роста сети при смешанной нагрузке позволяет выделять среди калейдоскопического множества вновь возникающих технологий наиболее перспективное

направление развития сетей электросвязи, вынося жесткую конкурентную борьбу между различными операторами прямо на абонентскую розетку.

### **Заключение**

Разработана инженерная методика измерения трафика пакетного режима в единицах телефонной нагрузки в Эрлангах, что позволяет применять стандартизованные ITU-T методики измерения качества предоставления услуг POTS (Plain Old Telephone Service – простая старая телефонная служба) и IP/MPLS.

Установлено, что при оценке мощности смешанной сети связи является целесообразным использовать показатель роста сети в единицах  $\frac{\text{кбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}$ , что в первом приближении позволяет сопоставлять между собой мощность сети в сегментах с коммутацией каналов и мощность сети в сегментах с коммутацией пакетов и обеспечивать гарантированное качество обслуживания абонентам по разным дисциплинам обслуживания.

Характерной особенностью вышеуказанного показателя роста сети является необходимость оценки смешанного трафика (речевого и данных) в Эрланго-каналах.

### **QUALITATIVE INDICATOR OF SEGMENTS GROWTH FOR NETWORK WITH DIFFERENT SERVICE DISCIPLINES**

A.G. KOSTUKOVSKY

#### **Abstract**

The quality assessing of telecommunication channels in a first approximation provide a new estimate the growth of the telecommunication network in a mixed load by matching between a power network in the segment circuit and power network segment packet-switched in units (Kbit/sec)·km are obtained. This comparison shows what segment of the network should be invested first for its further development and the associate the development with the tariff plans that displays the quality of competing services.

#### **Список литературы**

1. Gigabit Ethernet for Metro Area Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.accessengineeringlibrary.com](http://www.accessengineeringlibrary.com). – Дата доступа: 20.10.2014.
2. Рекомендации ITU-T серии G. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.itu.int>. – Дата доступа: 20.10.2014.
3. *Костюковский А.Г.* Объединение цифровых сигналов при коммутации время-разделенных каналов Минск, 2007.
4. Теория сетей связи : учеб. пособие / Под ред. В.Н. Рогинского. М., 1981.
5. International Telecommunication Union – ITU [Электронный ресурс]. The Global Information Society: a Statistical View. – Режим доступа : <http://www.itu.int>. – Дата доступа: 20.10.2014.