



УДК 621.43

ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАФИКА СЕТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ QoS.

ЗИМИН И.В.

izvestiya@ktu.aknet.kg

В статье рассмотрены методы планирования пропускной способности в сетях на базе пакетных технологий, а качество передачи информации оценивается как с позиции технических параметров движения информационных пакетов по сети, так и с позиции восприятия абонентом доступности и приемлемости получаемого сервиса. Поставленная задача решается для различных моделей формирования входных потоков и схем занятия канального ресурса.

The article deals with methods of planning capacity in networks based on packet technology, and quality to the transfer of information is estimated from the perspective of the technical parameters of the movement of data packets across the network, as well as from the perspective of the subscriber perception of accessibility and affordability of the service received. The problem is solved for different models of the formation of the input streams and channel resource training schemes.

Введение. С целью теоретического анализа коммутационные системы и соединительные устройства упрощенно представляются в виде моделей. Такие модели отражают в концентрированной форме именно те факторы, которые представляются существенными в теоретическом отношении.

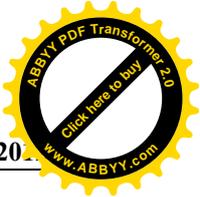
К ним относятся:

- группообразование коммутационной системы;
- тип коммутационной системы;
- последовательность поиска для занятия свободных линий;
- поступающая нагрузка.

Разработанные теоретические методы расчета пригодны для практического проектирования коммутационных установок лишь в том случае, если обеспечена достаточная согласованность моделей с действительностью. Результаты, полученные на основе обобщающих выводов, следует при необходимости перепроверять путем проведения измерений в реальных системах или моделированием процесса.

Предъявляемые к коммутационной установке или коммутационному устройству, требования определяются такими параметрами, как поток требований (последовательность вызовов) и продолжительность занятия. Если в системе занято x линий и поступает новое требование, обслуживание которого может произойти немедленно, то число занятых линий возрастает от x до $x+1$. Если же, напротив, время занятия одной из x линий истекает, то их число уменьшается от x до $x-1$. Продолжительность паузы между двумя последовательно поступающими требованиями (интервал поступления) и время занятия каждого реализованного случая занятия линии представляют собой случайные величины. Поэтому число одновременно занятых линий x также является случайной величиной и изменяется в течение указанного периода времени стохастически как $x(t)$. Для выполнения расчетов его предполагают стационарным (установившимся), т. е. статистические характеристики считаются постоянными во времени.

Целевые показатели QoS. В сетях на базе пакетных технологий качество передачи информации можно оценить как с позиции технических параметров движения информационных пакетов по сети, так и с позиции восприятия абонентом доступности и приемлемости получаемого сервиса. Как показало обсуждение, проведенное в разделе [1], оценка пользователя больше подходит для формирования целевых показателей мероприятий, проводимых оператором с целью повышения эффективности работы сети. Ограничения на значения соответствующих показателей, а это доля пакетов, потерянных из-за перегрузки элементов сетевой инфраструктуры, доля отказов в выделении канального ресурса и эффективная скорость передачи будут определять минимально необходимый объем сетевой инфраструктуры, обеспечивающий заданный уровень обслуживания абонентов сети. На этом этапе можно также решать и обратную задачу. Если пропускная



способность сети и величины трафика известны, то можно оценить показатели качества его обслуживания. Для оценки ожидаемой загрузки линии мультисервисным трафиком интенсивности поступающих заявок из Эрлангов пересчитываются в *эрланго-каналы*. Значение интенсивности предложенного трафика в эрланго-каналах определяет среднее число потенциально необходимых канальных единиц. Данный показатель можно использовать для характеристики как моносервисного, так и мультисервисного трафика [2,8].

Алгоритмы маршрутизации определяют пути движения информационных потоков между любыми двумя точками концентрации трафика. Для увеличения вероятности доставки информации по сети для каждого маршрута определяются один или несколько дублирующих маршрутов, между которыми распределяется поступающая информация. Дублирование маршрутов также необходимо в целях уменьшения негативных последствий блокировок, когда загрузка одного или нескольких звеньев сети близка к критической.

На точки концентрации трафика должна быть наложена топология сети, выраженная в терминах числа узлов и соединительных линий между ними. К наиболее распространённым топологиям относятся: кольцевая, полносвязная, иерархическая, линейная и т.д. Каждая из топологий имеет свои достоинства и недостатки, которыми необходимо руководствоваться при выборе конкретной схемы построения сети. Эффективность использования каждой схемы во многом определяется размерами сети. Для небольших сетей выбор должен быть сделан в пользу полносвязных схем соединения узлов, для больших — в пользу иерархических. Достоинствами полносвязной схемы являются: уменьшение времени соединения, уменьшение числа звеньев сигнализации, упрощение администрирования сети. К достоинствам иерархической схемы следует отнести простые алгоритмы взаимодействия с сетями других операторов и отсутствие сложностей в реализации процедур расширения сети. Для такой топологии проще корректировать ошибки в оценке трафика, поступающего на конкретный узел. Информация о структуре сети, алгоритмах маршрутизации информационных потоков и значениях интенсивностей потенциального трафика определяют интенсивности потоков заявок для каждого узла и линии. Это даёт возможность рассчитывать пропускную способность звеньев сети.

Пропускная способность сети. Объём канального ресурса линий и узлов сети оценивается на основе информации о потенциальном трафике, топологии сети и алгоритмах маршрутизации. При оценке пропускной способности элементов сети необходимо для каждого потока заявок определить потребность в канальном ресурсе, длительность его занятия на обслуживание заявки, а также частоту поступления заявок. Далее с использованием моделей теории телетрафика определяется пропускная способность каждого элемента сети. Соответствующие модели и процедуры разработаны для различных ситуаций, которые могут встретиться при проектировании и эксплуатации мультисервисных сетей связи. Определение величины ресурса (скорости линии), достаточной для обслуживания заданного объёма трафика, происходит последовательным сравнением рассчитанного показателя QoS с его нормированным значением. В более сложных случаях в качестве критерия достаточности ресурса применяются функциональные зависимости, в которых помимо показателей QoS используются стоимостные параметры и другие характеристики работы сети. Минимально необходимая величина ресурса находится методом перебора. После того, как требуемый объём канального ресурса линий и узлов сети найден, рассчитываются фактические показатели качества обслуживания поступающих заявок, которые достигаются на мультисервисной сети, рассматриваемой как единое целое. Для повышения точности оценок эту часть расчётов рекомендуется проводить помимо приближённых методик также и средствами имитационного моделирования.

Перейдем к анализу процедур, выполняемых при реализации блока оценки стоимости сетевого решения, найденного на первом этапе. Структура модуля показана на рис. 1.

Выбор состава оборудования. Определяется состав оборудования, обеспечивающего требуемую функциональность по условиям передачи информации. Происходит выбор производителя оборудования, который по технологическим, ценовым и другим критериям подходит для реализации планируемого решения по строительству или реконструкции сети. Понятно, что таких производителей может быть и несколько. Определяются цены на выбранный тип оборудования. Используются действующие цены или прогнозируемые на момент построения сети.

Расчёт объёма оборудования. Оценивается объём оборудования, необходимого для построения сети в соответствии с заданными показателями пропускной способности. Результаты вычислений представляют собой перечень элементов сетевой инфраструктуры с указанием их количества и характеристик пропускной способности. Для проведения расчётов применяются специальные методики, которые являются либо частью средств планирования сети, либо заказываются извне.

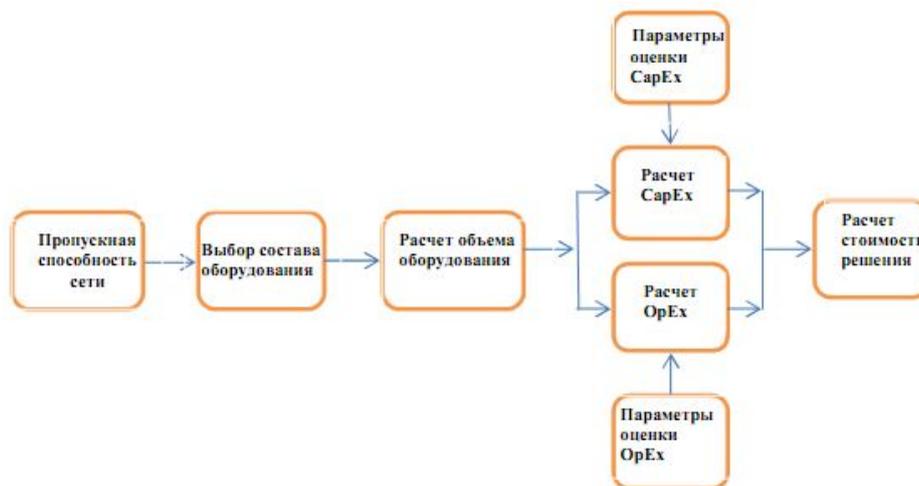


Рис. 1. Структура модуля расчета стоимости сетевого решения.

Параметры оценки CapEx. (Capital Expenditure — капитальные затраты). Определяется перечень параметров, которые будут использоваться для вычисления объёмов ежегодных инвестиций, в зависимости от стоимости и количества необходимого оборудования. Большую роль в оценке величины капитальных затрат играют методика и параметры оценки амортизации оборудования, согласованные со всеми участниками реализации проекта строительства или реконструкции сети.

Расчёт CapEx. Значение CapEx определяется с помощью стандартных методик оценки данного финансового показателя. Результаты вычислений представляются в виде ежегодных затрат на обслуживание добавочных объёмов трафика. Они должны также покрывать стоимость капитала и амортизации. Процедура расчёта CapEx может носить итерационный характер, направленный на оптимизацию капитальных затрат. При повторных вычислениях могут измениться состав и значения параметров, используемых при оценке CapEx, например, стоимость оборудования.

Параметры оценки OpEx. (Operational Expenses — эксплуатационные расходы). Величина эксплуатационных расходов оценивается более грубо, чем капитальные затраты. Рутинные сетевые и несетевые расходы (например, заработная плата, стоимость ремонта и т.д.) выражаются, как процент от капитальных затрат. Расходы другого вида просто добавляются к окончательному результату, как единовременный взнос.

Расчёт OpEx. Производится расчёт величины OpEx с использованием значений параметров, необходимых для оценки данного показателя. При этом учитываются величина объёма оборудования, номинальная стоимость активов и величина ежегодного CapEx. Процедура расчёта значения OpEx также может носить итерационный характер, направленный на оптимизацию соответствующих затрат.

Расчёт стоимости решения. На финальной стадии планирования сетевой инфраструктуры найденные значения CapEx и OpEx определяют полную стоимость планируемого решения.

В основе используемых алгоритмов оценки показателей QoS лежат соответствующие математические модели. Проведение процедуры формализации и дальнейшее построение модели, описывающей специфику анализируемой проблемы эксплуатации или проектирования телекоммуникационной системы, обеспечивает исследователя, а с ним и администрацию телекоммуникационной компании, численной информацией (ожидаемое качество обслуживания, доходы и т.д.), необходимой для принятия бизнес-решений по строительству и реконструкции

сети. Достижение компромисса между подробностью анализа исследуемой ситуации и возможностью дальнейшего практического использования полученных результатов является достаточно сложной задачей. Модель, с одной стороны, должна отражать все основные параметры анализируемой системы связи, как то: вид и характер входных потоков, структуру коммутационного узла, дисциплину обслуживания и т.д., а с другой стороны — оставаться приемлемой для проведения численного анализа.

Детальность анализа информационных потоков. Рассмотрим сеть, состоящую из некоторого числа узлов, соединённых между собой линиями связи. Понятно, что конкретный вид модели, которая будет построена и использована для расчёта сети, т.е. топология сети, перечень структурных параметров, участвующих в её описании, канальный ресурс линий связи и т.д., определяются тем, какие характеристики качества обслуживания пользователей нам впоследствии понадобятся при оценке функционирования сети. Тип характеристик задаёт также и степень детализации в описании процесса поступления информационных потоков, которая будет использована при построении модели. Детальность в данном контексте — это используемая шкала времени. Она определяет также и возможные действия по управлению сетью. Рассмотрим теперь влияние шкалы времени на вид формализованного описания процесса поступления информационных потоков.

Когда применяется пакетная форма передачи информации, то анализ процесса её поступления можно вести на уровне пакета, на уровне поступления пачки пакетов (так называемый информационный выброс — burst) или на уровне соединения. Длительности интервалов времени между событиями на каждом из уровней различаются на несколько порядков. Например, в случае передачи речи с использованием технологии ATM длительность соединения обычно измеряется сотнями секунд, длительность интервала сгущения в поступлении ячеек имеет порядок сотен миллисекунд, а время передачи ячейки при скоростях несколько сотен мегабит в секунду уже имеет порядок единиц микросекунд. Рассмотренная на примере сети ATM иерархия временных уровней анализа информационных потоков схематично показана на рис. 2.

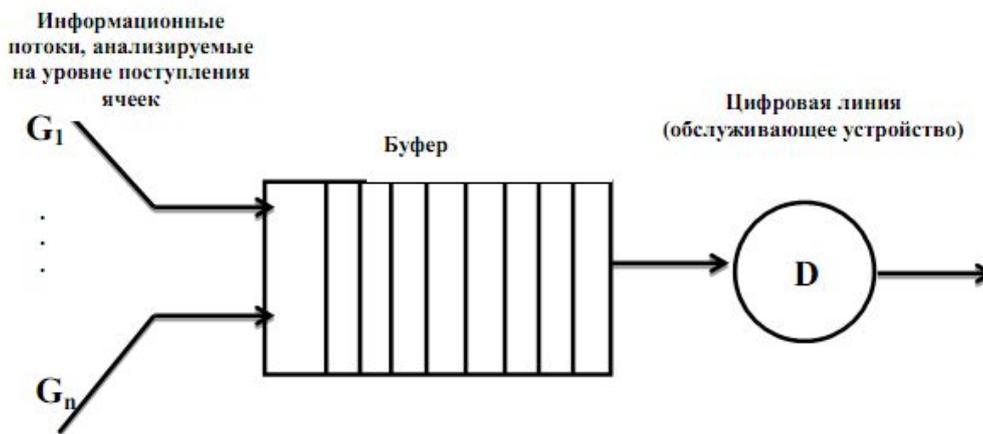


Рис. 2. Схема модели трафика, используемая для оценки размеров буфера при анализе процесса мультимплексирования информационных потоков, рассматриваемых на уровне поступления заявок.

Необходимые обозначения параметров имеют следующий смысл:

- T_H — длительность соединения;
- T_I — длительность интервала времени между отдельными соединениями;
- T_S — длительность интервала времени отсутствия поступления ячеек;
- T_B — длительность интервала сгущения в поступлении ячеек;
- T_A — длительность интервала времени между последовательными поступлениями ячеек;
- T_C — длительность интервала времени передачи ячейки.

В некоторых случаях процесс передачи информации проводится с учётом большего числа уровней. Например, для мультимедийных приложений выделяются уровень диалога,

расположенный между уровнем соединения и сгущения, и уровень вызова, находящийся над уровнем соединения. Каждой шкале соответствуют свои модели описания процесса поступления информационных потоков и времени занятия канального ресурса.

Более детальный анализ структуры информационных потоков интересен для производителей коммуникационного оборудования, т.к. позволяет вести оценку размеров буфера, скоростей кодирования и декодирования и т.д. На уровне пакетов поступающая информация представляет собой дискретный поток, порождаемый каждым из источников с интенсивностью на несколько порядков меньшей, чем скорость используемой для передачи цифровой линии. На этом уровне большинство источников информации порождают локально периодический поток. За периодом генерации пакетов, обычно происходящим с максимальной для рассматриваемого источника скоростью, следует период времени, когда пакеты не поступают. Типичная задача, которая решается на уровне анализа поведения пакетов, связана с оценкой размеров буфера при мультиплексировании нескольких входных потоков. Соответствующая модель работы АТМ-мультиплексора схематично показана на рис. 3.

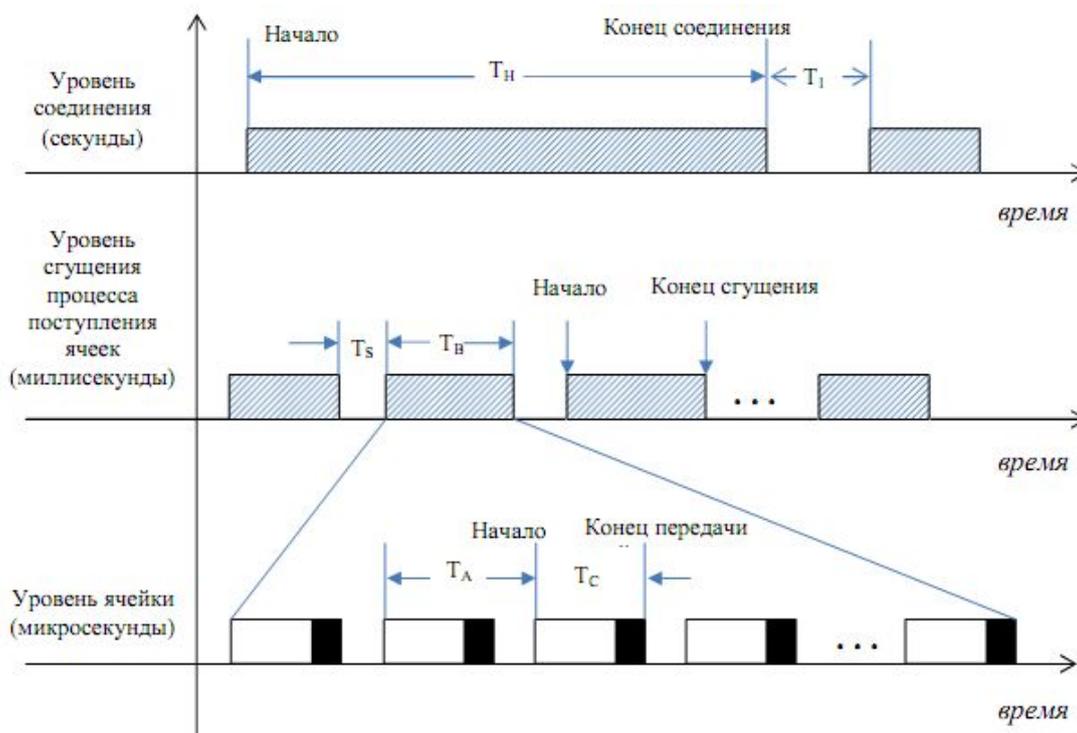
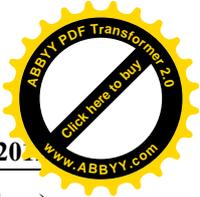


Рис. 3. Иерархия детальности анализа информационных потоков в сетях на базе технологии передачи АТМ.

В исследуемой ситуации наличие буфера необходимо для устранения возможных конфликтов в передаче ячеек, обусловленных их одновременным поступлением. На рис. 3. показано, что в модели различаются n входных потоков ячеек, поступающих по соответствующим виртуальным каналам для передачи по исходящей цифровой линии, моделируемой в виде одного обслуживающего устройства. Время передачи любой ячейки постоянно, а длительности интервалов времени между последовательными поступлениями ячеек k -го потока, $k = 1, 2, \dots, n$, задаются функцией распределения G_k , которая зависит от анализируемой ситуации. В качестве G_k можно брать детерминированное распределение, экспоненциальное распределение или ряд других. Модель применяется для оценки размеров буфера, достаточного для обеспечения заданного уровня потерь ячеек при наличии ограничения на допустимое время задержки. В зависимости от используемой схемы построения входного потока существует много вариантов введённой модели. Общим для них является то, что здесь имеется одно обслуживающее устройство, время передачи постоянно и есть конечный буфер.

Для администрации оператора связи, обычно решающей задачи эксплуатации и реконструкции сети, наибольший интерес представляет анализ информационных потоков на



уровне соединения. Поскольку от количества успешных соединений (обслуженный трафик) зависит доход сети, а качество обслуживания определяется абонентом, числом совершённых неудачных попыток соединения и временем скачивания документов. В дальнейшем будем исследовать процесс выделения канального ресурса на уровне соединения.

Эффективная скорость передачи. Понятие эффективной скорости передачи информационного потока вводится для оценки потребности в канальном ресурсе при передаче импульсного трафика с использованием пакетных технологий. Оно тесно связано со свойством статистического мультиплексирования, характерного для данной технологии передачи, и позволяет рассчитать максимально возможное число соединений определённого вида при фиксированной доле потерь информационных ячеек. Тем самым создаётся возможность оценить минимально необходимую скорость линии в заданном направлении.

Подход к вычислению значений эффективной скорости передачи заключается в использовании разного рода упрощённых выражений. Рассмотрим метод, предложенный в работе [6,7]. В данном случае оценка эффективной скорости передачи уже не зависит от параметров s, t , определяющих условия совместного обслуживания, а вычисляется на основе характеристик трафика: средней ℓ и пиковой h скоростей поступления информации, скорости линии C и ограничения на качество передачи в форме доли потерянных ячеек P_{loss} . Пусть величины x, y определяются из выражений:

$$x = -\frac{2h}{C} \log P_{loss} \quad (1)$$

$$y = 1 - \frac{1}{50} \log P_{loss} \quad (2)$$

Тогда эффективная скорость передачи a находится из следующего эмпирического соотношения (3):

$$a = \begin{cases} y\ell \left(1 + 3x \left(1 - \frac{\ell}{h} \right) \right), & \text{если } 3x \leq \min \left(3, \frac{\ell}{h} \right), \\ \frac{y\ell \left(1 + 3x^2 \left(1 - \frac{\ell}{h} \right) \right)}{h}, & \text{если } 3 < 3x^2 \leq \frac{\ell}{h}, \\ & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (3)$$

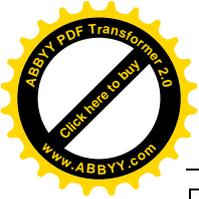
Имеются и другие более точные эмпирические подходы к оценке эффективной скорости передачи. Результаты соответствующих расчётов представлены для некоторых видов коммуникационных приложений. Часть вычислений показана в таблице 1., где для каждого из рассмотренных приложений приведены две оценки эффективной скорости: α_1 и α_2 . Величина α_1 взята из [5], а значение α_2 подсчитано с использованием соотношения (3). Отметим, что для анализируемых типов приложений оба подхода дают близкие результаты. Результаты вычисления пиковой, средней и эффективной скоростей передачи для некоторых видов коммуникационных приложений на линии 8 Мбит/с.

В таблице также приведены значения потерь пакетов и отношения эффективной и средней скоростей передачи (на примере α_1 / ℓ). Из представленных данных видно, что в зависимости от типа приложения соотношение между эффективной и средней скоростями передачи меняется в довольно широких пределах, отражая способность соответствующих информационных потоков к мультиплексированию. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании мультисервисных сетей.

Результаты вычислений.

Таблица

Тип приложения	H (кбит/с)	ℓ (кбит/с)	P_{loss}	α_1 (кбит/с)	α_2 (кбит/с)	α_1 / ℓ
Передача речи, видеоконференц связь:	64	25	0,0001	30	30	1,2



MPEG-4 (HQ)	2000	400	0,001	1600	2000	4,0
MPEG-4 (LQ)	1000	90	0,001	286	291	3,2
H.263 (HQ)	1400	256	0,001	1000	1005	3,9
H.263 (MQ)	320	64	0,001	105	107	1,6
H.263 (LQ)	84	16	0,001	20	20	1,3

Практические аспекты оценки эффективной скорости передач. Рассмотрим практические аспекты оценки величины эффективной скорости передачи. Точная оценка данного параметра требует детального знания статистических свойств потока и не всегда возможна. Как правило, оператор владеет информацией о предполагаемом трафике. Как в этой ситуации осуществить оценку эффективной скорости передачи? Здесь есть несколько возможностей.

1. Допустим, оператору известны тип приложения и статистические свойства трафика. Тогда оценка эффективной скорости передачи не вызывает затруднений и выполняется по известным формальным правилам, исходя из определения $a(s,t)$ и статистических характеристик источника. Данная ситуация встречается крайне редко и относится, главным образом, к источникам трафика, заданным по формальным правилам.
2. Если известен только тип приложения, а статистические свойства трафика в требуемом объёме не определены, то в качестве значения эффективной скорости передачи можно использовать соответствующую характеристику, относящуюся к данному типу трафика. Например, для голосового трафика использовать значение эффективной скорости передачи 30 кбит/с из таблицы 1.
3. Если статистические свойства трафика совсем не определены, то в качестве оценки следует выбирать максимальное значение эффективной скорости передачи, которое возможно найти в рамках используемого SLA (Service Level Agreement – соглашение о качестве обслуживания). Реализация этого подхода приводит к уменьшению коэффициента использования канального ресурса. Однако это единственная возможность в данных обстоятельствах гарантировать качество обслуживания.
4. Найденные оценки эффективной скорости передачи можно уточнить, если воспользоваться результатами измерения состояния сетевой инфраструктуры в действующих системах связи.

Понятие эффективной скорости передачи позволяет рассчитать минимально необходимую скорость передачи импульсного трафика, а также служит основой формализованного представления канального ресурса в моделях, используемых при планировании пропускной способности мультисервисных сетей связи.

Заключение. Опыт формализации процесса передачи информации в современных сетях связи подсказывает, что модель должна:

- отражать качественные свойства совместного обслуживания заявок на выделение канального ресурса, характерные для мультисервисных сетей связи;
- иметь минимально возможное число входных параметров и показателей обслуживания заявок с ясной физической интерпретацией и возможностями их измерения техническими средствами, имеющимися на сети.

Несмотря на жесткий характер перечисленных требований, примеры таких моделей в теории телетрафика существуют. Речь идёт о модели обслуживания заявок на выделение канального ресурса, которая привела к известной формуле Эрланга. Соответствующий результат много десятилетий с успехом используется для решения задач проектирования сетей связи. Можно утверждать, что переход на пакетные технологии не меняет восприятия пользователем качества обслуживания. Требуется лишь учесть мультисервисный характер трафика, зависимость моментов поступления заявок и длительности занятия ресурса от вида сервиса и качества обслуживания, а также возможность приоритизации трафика современными механизмами поддержки качества обслуживания, принятыми в IP-сетях. Многообразие ситуаций говорит о необходимости разработки семейства моделей, учитывающих перечисленные особенности формирования потоков заявок и детали реализации основных схем распределения канального ресурса.



Поставленная задача решается для различных моделей формирования входных потоков и схем занятия канального ресурса. Каждая из рассмотренных моделей даёт возможность учесть тот или иной важный для практики аспект обслуживания заявок на выделение канального ресурса. Во всех моделях речь идет об оценке канального ресурса звена мультисервисной сети.

Планирование пропускной способности сети требует учёта многих факторов и проводится с использованием математических моделей и разработанных на их основе алгоритмов оценки показателей качества функционирования мультисервисных сетей связи. Помимо оценки необходимого объёма сетевой инфраструктуры полученные результаты можно также использовать и для обоснования действий администрации по управлению сетью. Решение сформулированной задачи имеет большое значение для развития бизнеса телекоммуникационных компаний, поэтому разработке аппаратно-программных средств планирования сети уделяется большое внимание.

Литература

1. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н.Чернышова. — М.: Эко-Трендз, 2008.
 2. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика: Учебное пособие. Изд. 2-е исправ. и доп. — М.: Изд-во РУДН, 2007.
 3. Вишневский В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Техносфера, 2003.
 4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.
 5. Галкин А.М., Симонина О.А. Яновский Г.Г. Анализ характеристик сетей NGN с учетом свойств самоподобного трафика // Электросвязь. 2007. №12.
 6. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А. Л. IP-Телефония. - М.: Радио и связь, 2006.
 7. Ершов В. А, Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.
 8. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. — М.: Изд-во Эко-Трендз, 2010.
 9. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1996.
 10. Крылов В.В., Самохвалов С. С. Теория телетрафика и её приложения. — СПб: БХВ-Санкт-Петербург, 2005.
 11. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. — Санкт-Петербург: Наука и техника, 2004.
 12. Степанов С.Н. Численные методы расчёта систем с повторными вызовами. — М.: Наука, 1983.
 13. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. — М.: Радиотехника, 2003.
- Яновский Г. Г. Качество обслуживания в сетях IP // Вестник связи. 2008. №1.