

Зимин И.В., Алымкулов С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА ДЛЯ СЕРВИСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

I.V. Zimin, S.A. Alymkulov

STUDY OF A MODEL OF A CHANNEL RESOURCE ASSESSMENT FOR REAL TIME SERVICES

УДК: 621.05

В статье рассмотрены дополнительные модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени. Каждая из них следует из базовой модели и уточняет ее соответствие реалиям функционирования мультисервисных сетей. Для ее построения получены точные и приближенные алгоритмы оценки пропускной способности, которые можно использовать для решения задач планирования сети. В моделях исследованы механизмы обеспечения преимущества в занятии канального ресурса для отдельных потоков заявок.

Additional models a channel resource assessment are considered for real time services. Every of them follows from the base model and specifies if it corresponds to real functioning of multi-service networks. To build it new accurate and approximate algorithms were obtained for assessment of throughput, which can be used for solution of network planning problems. The mechanisms ensuring the advantages of a channel resource occupation by separate demands have been investigated in the models.

Введение. Современное общество производит и потребляет разные виды информации, для доставки которой используются различные информационные и телекоммуникационные сети. В связи с этим особую актуальность приобретает проведение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ в области создания современных телекоммуникационных сетей, обслуживающих разнородный трафик.

При решении задач проектирования и оптимизации телекоммуникационной сети (ТС) актуальной остается задача определения нагрузки поступающей на сеть. Это связано с тем, что величина нагрузки является одним из основополагающих факторов при расчете необходимого количества каналов связи, систем коммутации и другого сетевого оборудования. Процесс этот многоплановый. Он затрагивает разные стороны работы оператора услуг связи и должен выполняться с широким привлечением инноваций как в сфере создания новых коммерческих решений, так и в проведении мероприятий, направленных на оптимизацию процессов развития бизнеса и управления деятельностью компании.

Область исследования. Одной из составляющих этого процесса – научно обоснованное планирование и оптимизация телекоммуникационных сетей, обеспечивающих предоставление запрашиваемых сервисов с заданными показателями качества обслуживания. Реализация соответствующей функции является сложной задачей, естественным образом отражающей сложность исследуе-

мого объекта. Для ее решения требуются усилия команды специалистов, в состав которой входят эксперты в области технологий, протоколов, системного анализа, вычислительной математики и программирования. Одним из результатов их деятельности является формализованное описание исследуемой сети или ее фрагмента в виде математической модели, которая далее используется для разработки методик оценки показателей пропускной способности сети. Реализованные в виде программных продуктов, соответствующие методики значительно уменьшают время на выполнение процедур планирования сети, позволяя менеджменту компании проводить многовариантный анализ сценариев ее развития. В перечень решаемых задач необходимо также включить: оценку интенсивности рисков, анализов возможных чрезвычайных ситуаций и поиск путей выхода из них, исследование механизмов повышения эффективности распределения канального ресурса.

Методы обеспечения качества обслуживания фокусируют внимание на влиянии очередей в коммутационных устройствах при передаче трафика, в которых используются различные алгоритмы управления очередями, резервирования и обратной связи, позволяющие снизить негативное воздействие очередей до приемлемого для пользователей уровня.

Очереди являются неотъемлемым атрибутом сетей с коммутацией пакетов. Принцип работы таких сетей подразумевает наличие буфера у каждого входного и выходного интерфейса коммутатора пакетов. Буферизация пакетов во времени перегрузок представляет собой основной механизм поддержания пульсирующего трафика, обеспечивающий высокую производительность сетей подобного типа. С другой стороны, очереди означают неопределенную задержку при передаче пакетов через сеть, что является главным источником проблем для чувствительного к задержкам трафика. По этой причине провайдером необходимы средства обеспечения компромисса между стремлением параллельно загрузить свою сеть и выполнением требований QoS одновременно для всех видов трафика.

В статье рассмотрены дополнительные модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени. Каждая из них следует из базовой модели и уточняет ее соответствие реалиям функционирования мультисервисных сетей. Для ее построения получены точные и приближенные алгоритмы оценки пропускной способности, которые можно использовать для решения задач планирования сети.

В моделях исследованы механизмы обеспечения преимущества в занятии канального ресурса для отдельных потоков заявок [1]. Применение соответствующих схем направлено либо на выравнивание качества обслуживания мультисервисного трафика, либо на улучшение показателей обслуживания одних потоков заявок по сравнению с другими, а также учитывается возможность повторения заявки, получивший отказ в обслуживании из-за недостаточности канального ресурса или недопустимости вызываемого устройства.

Модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени. Обслуживание в пакетных сетях трафика сервисов реального времени имеет прямую аналогию с передачей речевой информации в сети коммутации каналов. Переход на пакетные технологии не меняет восприятия абонентом качества получаемого сервиса. Передача информации пользователя должна идти без задержки в точках коммутации. Если доля потерянных пакетов фиксирована и не превышает заданной нормированной величины, то качество обслуживания абонента определяется доступностью канального ресурса, т.е. измеряется долей потерянных заявок. Использование понятий эффективной скорости передачи информации и канальной единицы позволяет переформулировать задачу оценки передаточного ресурса линии в терминах вычисления вероятности блокировки в многопоточковых моделях коммутации каналов.

Базовая модель. Для моделей мультисервисных систем связи схема занятия канального ресурса зависит от типа поступившей заявки. Выделение групп однородных событий, описывающих последовательность моментов поступления заявок, не приводит их к одному потоку, как это происходит в классических моделях теории телетрафика. Процесс обслуживания каждой группы заявок необходимо рассматривать отдельно. Таким образом, возникает класс многопоточковых моделей. Привязка модели к реальным условиям обслуживания поступающих заявок происходит на этапе формализации, когда технические характеристики систем связи (скорость линий, доступность и т.д.) интерпретируются в терминах понятий, используемых при описании соответствующих моделей теории телетрафика [3].

В модели имеется n потоков заявок на выделение канального ресурса, необходимого для обслуживания трафика сервисов реального времени (речевые сообщения, видеоконференц-связь и т.д.). Поступление заявок k -го потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью λ_k , где $k=1,2,\dots,n$. Сделанный выбор модели входного потока предполагает, что влияние размеров группы пользователей на создаваемый ими поток заявок пренебрежимо мало и её можно считать бесконечной. Пусть v – скорость передачи информации мультисервисной линии, выраженная в единицах канального ресурса, требуемого для обслуживания поступающих заявок, b_k – число

единиц ресурса линии, необходимого для обслуживания одной заявки k -го потока, $\frac{1}{\mu_k}$ – среднее время занятия канального ресурса на её обслуживание, $k=1,2,\dots,n$. В соответствии можно считать значения b_k , $k=1,2,\dots,n$ и v целыми положительными числами. Если это не оговаривается особо, будем предполагать, что длительности времени занятия канального ресурса на обслуживание заявок имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга и от входных потоков. Схема функционирования и отличительные свойства базовой модели мультисервисной линии показаны на рис. 1.

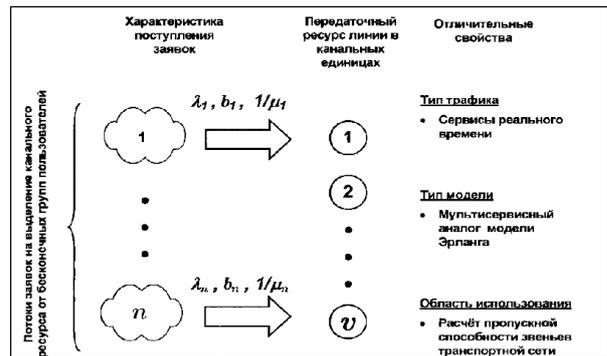


Рис. 1. Структура и свойства базовой модели мультисервисной линии, используемой при анализе канального ресурса на уровне соединения.

Математическое описание модели: Основной областью использования исследуемой модели является определение необходимого объёма канального ресурса для передачи трафика сервисов реального времени. Выбор показателей обслуживания заявок задаёт вид пространства состояний исследуемой модели и структуру случайного процесса, описывающего динамику их изменения. Пусть $i_k(t)$ – число заявок k -го потока, находящихся в момент времени t на обслуживании. Динамика изменения общего числа обслуживаемых заявок описывается многомерным случайным процессом, определённым на конечном пространстве состояний S .

$$r(t) = (i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t)),$$

Оно состоит из векторов (i_1, i_2, \dots, i_n) , удовлетворяющих неравенству:

$$\sum_{k=1}^n i_k b_k \leq v \quad (1)$$

На рис. 2. для исследуемой модели показаны пространство состояний и соответствующая диаграмма переходов при $n=2$. Для простоты принято, что $b_1 = b_2 = 1$. Используемая схема построения модели и введённые ограничения на изменения входных параметров (1) позволяют утверждать, что процесс $r(t)$ – Марковский. Если дополнительно предположить, что все состояния, входящие в S , – сообщающиеся, т.е. из каждого состояния в любое другое и обратно можно попасть в результате некоторого числа поступлений заявок или освобождений канального ресурса, то можно сделать вывод о наличии для $r(t)$ стационарного режима. Обозначим

через $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$, стационарную вероятность состояния (i_1, i_2, \dots, i_n) , где i_k – число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании в стационарном режиме, $k=1, 2, \dots, n$.

Доля потерянных заявок k -го потока находится как доля времени пребывания процесса $r(t)$ в состояниях, когда приём поступившей заявки невозможен из-за нехватки свободного канального ресурса. Справедливость данного утверждения вытекает из свойств пуассоновского потока, которому подчиняются моменты поступления заявок k -го потока.

В качестве примера рассмотрим исследуемую модель для значений входных параметров $v = 9, n = 2, b_1 = 1, b_2 = 3$. На рис. 2. Кружками обозначены состояния, принадлежащие множеству S . Закрашенные кружки – это состояния из множества U_1 . Заштрихованные и закрашенные кружки, рассмотренные совместно, – это состояния из множества U_2 . Значения введённых показателей обслуживания заявок k -го потока определяются из равенств:

$$\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in U_2} p(i_1, i_2, \dots, i_n) \quad (2)$$

$$m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) i_k b_k \quad (3)$$

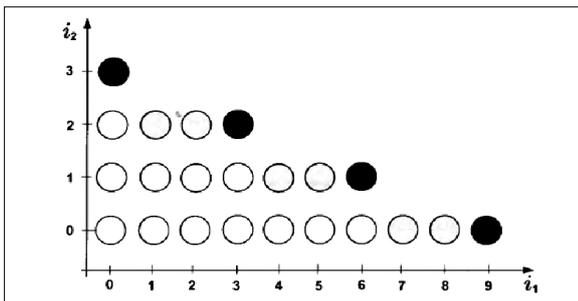


Рис. 2. Вид и соотношения между множествами состояний на основании исходных данных

Пусть y_k – среднее число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании. Понятно, что значение y_k находится из выражения $y_k = \frac{m_k}{b_k}$. Для расчёта характеристик m_k и π_k по введённым определениям (2), (3), необходимо составить и решить систему уравнений статистического равновесия, связывающую ненормированные значения вероятностей $P(i_1, i_2, \dots, i_n)$.

В соответствии с формальными правилами, на примере модели мультисервисной линии, используемой для описания совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. Пусть для состояния $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S$ величина $i = i_1 b_1 + i_2 b_2 + \dots + i_n b_n$ обозначает общий занятый канальный ресурс. Выполнив необходимые преобразования, получаем следующую конечную систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} P(i_1, i_2, \dots, i_n) \sum_{k=1}^n (\lambda_k I(i + b_k \leq v) + i_k \mu_k I(i_k > 0)) = \\ = \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k - 1, \dots, i_n) \lambda I(i_k > 0) + \\ \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k + 1, \dots, i_n) (i_k + 1) \mu_k I(i + b_k \leq v), \\ (i_1, i_2, \dots, i_n) \in S \end{aligned} \quad (4)$$

Оценка канального ресурса: традиционная схема. Основная область использования мультисервисных моделей – оценка минимальной величины канального ресурса, достаточного для обслуживания известных потоков заявок с заданным качеством [3]. Если данная задача решается на стадии проектирования сети, то параметры потоков определяются из маркетинговых исследований. Достаточность ресурса оценивается сравнением значения выбранного функционала, зависящего от характеристик качества обслуживания заявок, с его нормированной величиной, которая задаётся соответствующими регламентирующими документами. Для трафика сервисов реального времени в качестве такого функционала можно взять максимальное значение доли потерянных заявок π . Она определяется из равенства:

$$\pi = \max_{1 \leq k \leq n} \pi_k \quad (5)$$

Другая возможность – использовать значение доли π_f потерянного предложенного трафика, выраженного в канальных единицах (к.е.), от величины предложенного трафика. Выражение для оценки π_f имеет вид

$$\pi_f = \frac{a_1 b_1 \pi_1 + a_2 b_2 \pi_2 + \dots + a_n b_n \pi_n}{a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n} \quad (6)$$

В общей постановке сформулированная задача решается методом перебора [1]. Её реализация на примере исследуемой модели мультисервисной линии состоит в выполнении следующих шагов:

Задаются необходимые исходные данные. К ним относятся:

- значения входных параметров модели $n, a_k, b_k, k = 1, 2, \dots, n$, фиксированные на время решения задачи;
- функционал, зависящий от рассчитываемых характеристик качества обслуживания заявок и других параметров, например, стоимостных;
- нормированное значение функционала, задаваемое соответствующими регламентирующими документами, используемое для оценки достаточности канального ресурса;
- начальное значение канального ресурса π_0 обычно в качестве такового берётся целая часть величины предложенного трафика, выраженного в канальных единицах; в рассматриваемом случае получаем такое выражение:

Таблица 1

$$r_0 = \prod_{k=1}^n \alpha_k b_k l.$$

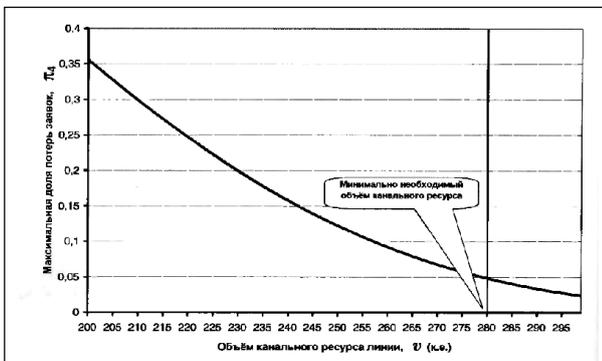
Производится расчёт значения функционала с использованием рекурсии (7).

$$P(i) = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^n \alpha_k b_k P(i - b_k) I(i - b_k \geq 0) \quad (7)$$

Значение функционала сравнивается с нормированной величиной. Если канального ресурса недостаточно, то его объём увеличивается, например, на единицу, и расчёты повторяются. В противном случае задача оценки канального ресурса считается решённой [7]. Приведём пример реализации традиционной схемы оценки минимально необходимого объёма канального ресурса. С этой целью рассмотрим базовую модель для следующих значений входных параметров:

$$n = 4, b_1 = 1, b_2 = 5, b_3 = 10, b_4 = 20, \alpha_k = \frac{200}{\pi b_k}, \text{ а}$$

$k = 1, 2, 3, 4$. Процедура оценки требуемого объёма канального ресурса v заканчивалась при выполнении условия $\pi \leq 0,05$. Понятно, что максимальные потери будут испытывать заявки 4-го потока. Результаты промежуточных вычислений π при изменении объёма канального ресурса линии v , выраженного в канальных единицах (к.е.), показаны на рис. 3. Решение поставленной задачи достигается при $v = 280$ к.е. В соответствии с перечисленными шагами реализации традиционного метода для нахождения ответа потребовалось рассчитать величину π_4 для значений v , меняющихся от 200 к.е. до



280 к.е.

Рис. 3. Результаты промежуточных вычислений максимальных потерь при решении задачи оценки минимально необходимого объема канального ресурса.

Для иллюстрации данного положения в таблице 9.1 приведены величины $p(0)$ для разных значений объёма канального ресурса и $n = 1, v = a, b = 1$. Величина v меняется от 100 к.е. до 1000 к.е. Из представленных данных видно, что значение $p(0)$ действительно быстро убывает с ростом v , внося сложности в реализацию расчётных схем.

Величина $p(0)$ для разных значений объёма канального ресурса.

| v (к.е.) | a (Эрл) | $p(0)$ | v (к.е.) | a (Эрл) | $p(0)$ |
|---------------|--------------|-------------------------|---------------|--------------|-------------------------|
| 100 | 100 | $7,06 \times 10^{-44}$ | 600 | 600 | $5,19 \times 10^{-261}$ |
| 200 | 200 | $2,67 \times 10^{-87}$ | 700 | 700 | $1,93 \times 10^{-304}$ |
| 300 | 300 | $9,99 \times 10^{-131}$ | 800 | 800 | $7,20 \times 10^{-349}$ |
| 400 | 400 | $3,73 \times 10^{-174}$ | 900 | 900 | $2,68 \times 10^{-391}$ |
| 500 | 500 | $1,39 \times 10^{-217}$ | 1000 | 1000 | $9,98 \times 10^{-435}$ |

Оценка канального ресурса: оптимизированная схема. Пусть v – искомое значение канального ресурса. Идея алгоритма становится понятной, если рассмотреть решение поставленной задачи для моносервисной модели звена (модель Эрланга), являющейся частным случаем исследуемой модели мультисервисной линии [7]. Примем $n = 1, b = 1$

$$p(i) = \frac{a}{i} p(i - 1) I(i - 1 \geq 0), \quad i = 1, 2, \dots, v. \quad (8)$$

Из (8) следует формула Эрланга для вычисления доли потерянных заявок в системе из v каналов с пуассоновским потоком заявок интенсивности a . Для определения необходимого объёма канального ресурса расчётное соотношение для $E(r, a)$ рекомендуется переписать в виде рекурсии:

$$E(r, a) = \frac{r E(r-1, a)}{1 + r E(r-1, a)}, \quad r = 1, 2, \dots, v \quad (9)$$

с очевидным начальным условием $E(0, a) = 1$. Приведём формальное изложение алгоритма. Пусть r – переменное значение объёма канального ресурса мультисервисной линии, v – величина минимально необходимого объёма ресурса для обслуживания заданных потоков заявок в соответствии со значениями QoS. Последовательность определения v выглядит следующим образом:

1. Положим $p_0(0) = 1$.
2. Для каждого фиксированного значения $r = 1, 2, \dots$ находим $\min(b, r + 1)$ нормированных значений вероятностей
3. $p_r(r), i = r, r - 1, \dots, \max(r - b + 1, 0)$.

$$p_r(r) = \frac{\frac{1}{r} \sum_{k=1}^n \alpha_k b_k p_{r-1}(r - b_k) I(r - b_k \geq 0)}{1 + \frac{1}{r} \sum_{k=1}^n \alpha_k b_k p_{r-1}(r - b_k) I(r - b_k \geq 0)}. \quad (10)$$

$$p_r(i) = \frac{p_{r-1}(i)}{1 + \frac{1}{r} \sum_{k=1}^n \alpha_k b_k p_{r-1}(r - b_k) I(r - b_k \geq 0)}, \quad (11)$$

$$i = r - 1, r - 2, \dots, \max(r - b + 1, 0).$$

4. Рассчитываем функционал, определяющий качество обслуживания заявок, заданный соотношениями (5) или (6). Проверяем достаточность объёма канального ресурса в соответствии со сформулированным критерием. По результатам проверки либо заканчиваем процесс определения объёма канального ресурса, либо продолжаем.

На рис. 4. показаны номера используемых состояний и порядок вычислений вероятностей при реализации построенной оптимизированной схемы оценки необходимого объёма канального ресурса. Величина $b = 3$. Заметим, что на каждом шаге

алгоритма независимо от текущего значения объёма канального ресурса r вычисляется не более b значений нормированных стационарных вероятностей.

Рассмотрим численный пример, иллюстрирующий эффективность использования разработанных расчётных схем. Соответствующие данные приведены в таблице 2. Анализируются две схемы: традиционная и оптимизированная. В первом случае определяются вероятности всех состояний модели, которые возникают при изменении величины канального ресурса от единицы до v . Расчёты проводятся с использованием рекурсии (7).

Во втором случае находятся только те значения вероятностей, которые необходимы для ведения рекурсии и оценки показателей качества обслуживания заявок. При выполнении вычислений используются соотношения (10). Значения входных параметров модели:

$$n = 4, b_1 = 1, b_2 = 3, b_3 = 5, b_4 = 10.$$

Величина интенсивности общего предложенного трафика A , выраженная в канальных единицах, меняется от 100 ЭрлК до 5000 ЭрлК и разделяется на отдельные потоки заявок с интенсивностями, определяемыми из соотношений:

$$a_k = \frac{A}{nb_k}, k = 1, 2, 3, 4.$$

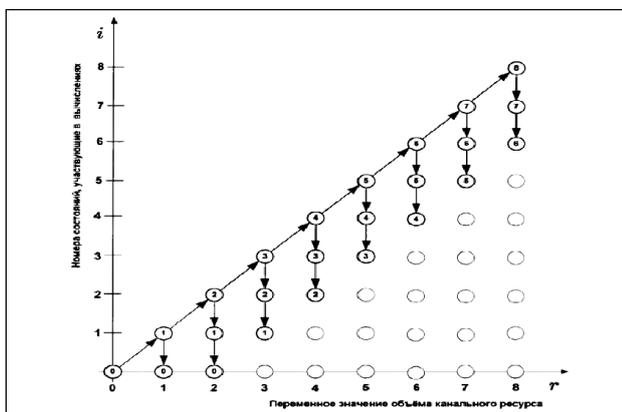


Рис. 4. Порядок вычислений стационарных вероятностей для оптимизированной схемы оценки объёма канального ресурса.

Процедура определения необходимого объёма канального ресурса v заканчивалась при выполнении условия $\max_{1 \leq k \leq n} \pi_k < 0,01$. Понятно, что максимальные потери будут испытывать заявки 4-го потока. В таблице 2 приведены значения относительного числа операций при использовании традиционной и оптимизированной схем решения задачи оценки канального ресурса при сформулированных выше начальных условиях. За единицу приняты вычислительные усилия, потраченные на реализацию оптимизированной схемы.

Оценка относительного числа операций при использовании традиционной и оптимизированной схем решения задачи оценки канального ресурса.

| A (ЭрлК) | Канальная емкость v (к.е.) | Традиционная схема | Оптимизированная схема | Значение π_4 |
|----------|------------------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| 100 | 161 | 36,4 | 1 | 0,00905 |
| 200 | 277 | 62,2 | 1 | 0,0094 |
| 300 | 389 | 87,1 | 1 | 0,00988 |
| 500 | 607 | 135,5 | 1 | 0,00974 |
| 750 | 873 | 194,7 | 1 | 0,00986 |
| 1000 | 1136 | 253,1 | 1 | 0,00983 |
| 2000 | 2171 | 483,1 | 1 | 0,00991 |
| 3000 | 3194 | 710,4 | 1 | 0,00994 |
| 5000 | 5225 | 1161,8 | 1 | 0,00993 |

Вывод. Задачи, рассматриваемые в статье заключались в описании моделей и изложения алгоритмов, пригодных для разработки аппаратно-программных средств планирования сетевой инфраструктуры мультисервисных сетей связи. Модели должны учитывать особенности формирования входных потоков заявок в перспективных сетях и давать возможность анализировать действия управленческих функций оператора, направленных на повышение эффективности использования канального ресурса.

Из анализа численных данных видно, что выигрыш в числе операций, который обеспечивается использованием оптимизированной схемы, весьма ощутим особенно для больших значений канального ресурса, где он достигает величины нескольких порядков по сравнению с традиционной схемой. При проведении вычислений не возникает проблем с переполнением или исчезновением порядка, поскольку расчёты выполняются только с нормированными значениями вероятностей глобальных состояний модели, потенциально обладающих наибольшей вероятностью. Другим положительным качеством рассмотренного подхода является его общий характер. Данная схема без труда обобщается на ряд других моделей сетей и систем связи. Алгоритм оценки производных доли потерянных заявок по значениям интенсивности предложенного трафика, следует работе В. Иверсена и С.Н.Степанова [2].

Литература:

1. Зимин И.В. Учебник: «Управление трафиком в сетях и системах телекоммуникаций». Издательство «Алтын Принт», Бишкек;
2. Степанов С.Н.; Иверсин В.Б. Способы уменьшения объёма вычислений при расчете моделей систем связей с потерями, основанные на игнорировании маловероятных состояний // Проблемы передачи информации. 2001. Том. 37. Выпуск. 3.;
3. Степанов С.Н. Материалы курса лекций «Основы теории моделирования сетей и систем телекоммуникаций». – М.: Московский технический университет связи и информатики. 2008г.;
4. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. Издание М., ЭКОТРЕНД3, 2010г.;
5. Iversen V.B. Teletraffic Engineering Handbook. – ITU-D, Nov 2002;

6. Iversen V.B., Stepanov S.N. The Unified Approach for Teletraffic Models to Convert Recursions dorGlobsl State Probabilities into Stable Form //Proc. 19th International Teletraffic Congress. Beijing, Chins, August 29 – September 2. 2005.;
7. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimsl dimensioning of multi-service links // Proc. COST-285 Mid-term Symposium. Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. NejatInce&ErcanTopuz (editors): Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks. Springer, 2006.

Рецензент: д.т.н., профессор Бекболотов Т.Б.
