ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ЛИНИИ ДОСТУПА ОТ КОНЕЧНОЙ ГРУППЫ АБОНЕНТОВ

Степанов Сергей Николаевич,
профессор МТУСИ, Москва, Россия,
stpnvsrg@gmail.com

Романов Андрей Михайлович,
аспирант МТУСИ, Москва, Россия,
amromanov89@yandex.ru

Осия Дмитрий Леонидович,
аспирант МТУСИ, Москва, Россия,
dimaosia@mail.ru

Ключевые слова: *линии доступа, конечные группы пользователей, передача данных, динамическое распределение канального ресурса.*

Разработана модель обслуживания трафика данных, поступающего от конечной группы пользователей услуг связи. В анализируемой модели учитывается зависимость интенсивности входного потока от числа абонентов, создающих загрузку линий доступа. Каждый источник может быть в двух состояниях: активном (свободном) или в состоянии занятости. В активном состоянии от источника поступают заявки на обслуживание через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром β. Максимальная продолжительность интервала времени занятости источника (время обслуживания заявки) длится случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром, равным μ. В течение всего этого времени, для обслуживания заявки используется ресурс линии в объеме r бит в секунду. Ресурс для обслуживания заявки выделяется в виде макроканала, который интегрирует передаточные возможности нескольких канальных единиц. Рассматриваемый вид трафика допускает некоторую задержку в процессе передачи по сети связи. Отмеченное свойство позволяет выполнить передачу трафика данных с переменной скоростью без потери качества предоставляемого сервиса. Трафик с указанными свойствами появляется при просмотре web-страниц, скачивании и пересылке файлов, использовании электронной почты и т.д. Обычно ресурс передачи информации делится поровну между всеми принятыми заявками. Перераспределение транспортного ресурса происходит в моменты времени, определяемые используемым механизмом адаптации скорости пересылки информации к условиям обслуживания заявок. В работе предполагается, что изменение скорости передачи происходит только в моменты изменения числа заявок, пребывающих в системе. Исследована схема занятия канального ресурса и даны формальные определения основным показателям качества совместного обслуживания заявок через значения стационарных вероятностей числа заявок, находящихся в системе. Построенная модель может быть использована для оценки скорости линий доступа, необходимой для пересылки данных с заданными показателями задержки.

Для цитирования:
Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №9. – С. 29-34.

For citation:
Stepanov S.N., Romanov A.M., Osia D.L. Construction and analysing of data transmission model on access line with finite number of subscribers. T-Comm. 2015. Vol 9. No.9, pp. 29-34. (*in Russian*).

Введение

При построении моделей систем связи часто предполагается, что поступление заявок на предоставление разного рода коммуникационных сервисов подчиняется закону Пуассона. Выбор этой модели входного потока означает, что число пользователей услуг связи велико и изменение их численности не сказывается на значении общей интенсивности поступления заявок. В ряде случаев это предположение вступает в противоречие с реалиями функционирования действующих систем связи. Приведем краткое описание одной из подобных ситуаций. Повышение пропускной способности радиоинтерфейса перспективных систем сотовой связи сопровождается расширением используемой полосы частот сигнала. Поскольку низкочастотная часть спектра уже занята радиосетями предыдущих поколений, то внедрение новых систем связи происходит в высокочастотных диапазонах в 2-3 ГГц. С ростом рабочей частоты резко снижается радиус соты. Так в условиях городской застройки переход из диапазона 450 МГц в диапазон 2100 МГц снижает площадь соты более чем в 13 раз. Понятно, что примерно во столько же уменьшается число потенциальных абонентов, находящихся на территории соты.

Таким образом, изменение числа активных пользователей начинает сказываться на величине интенсивности входного потока заявок, поступающего на базовую станцию. Подобная ситуация наблюдается и при моделировании процесса занятия ресурса передачи информации на уровне доступа в сеть фиксированной связи. Эта характеристика формирования потоков показана на рис. 1.

Следующая особенность, которая будет учитываться при построении модели относится к разделению ресурса передачи информации между заявками, находящимися на обслуживании.

В действующих и перспективных системах связи пересылка трафика данных, допускающего задержку в процессе транспортировки по сети, может быть выполнена с переменной скоростью без потери качества предоставляемого сервиса. Трафик с указанными характеристиками появляется при просмотре веб-страниц, скачивании и пересылке файлов, использовании электронной почты и т.д. Имеющийся ресурс передачи информации делится поровну или почти поровну между всеми заявками на передачу данных, находящимися на обслуживании.

Перераспределение транспортного ресурса происходит в моменты времени, определяемые используемым алгоритмом адаптации скорости пересылки информации к условиям обслуживания заявок. Естественно предположить, что изменение скорости передачи происходит только в момент изменения числа обслуживаемых заявок.

Математическая модель, учитывающая перечисленные особенности совместного обслуживания заявок на передачу данных, будет построена и исследована в последующих разделах. Для пуассоновской модели входного потока заявок различные аспекты динамического разделения ресурса передачи информации рассматривались в [1-5].

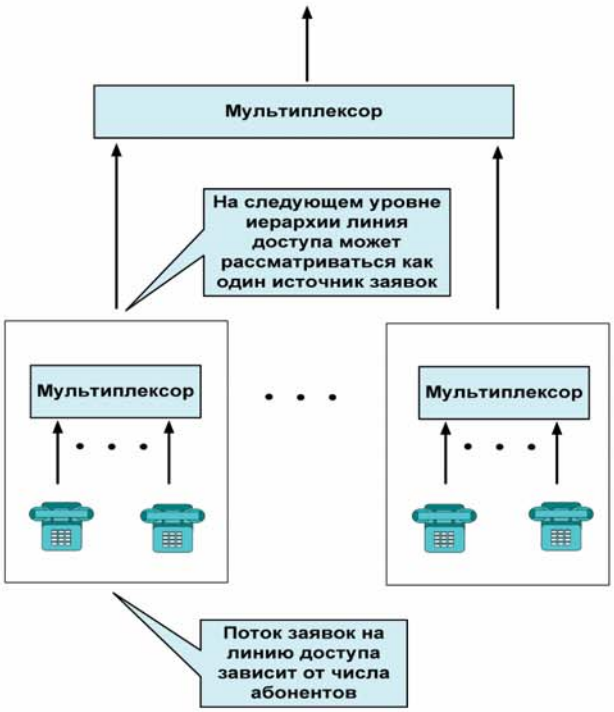


Рис. 1. Иерархия процесса мультиплексирования на уровне доступа. Пример системы с конечным числом абонентов

Процедура динамического разделения ресурса передачи информации

Обозначим через C скорость линии, выраженную в битах в секунду. В анализируемой модели рассматривается процесс поступления и обслуживания заявок на передачу данных от n источников. Каждый источник может быть в двух состояниях: активном (свободном) или в состоянии занятости. В активном состоянии от источника поступают заявки на обслуживание через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром β. Максимальная продолжительность интервала времени занятости источника (время обслуживания заявки) длится случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром, равным μ. В течение всего этого времени для обслуживания заявки используется ресурс линии в объеме r бит в секунду. Предположим, что значение C делится нацело на r и обозначим через $v = \frac{C}{r}$ максимальное число виртуальных каналов передачи информации, обеспечиваемое анализируемой линией связи. Обозначим через d число принятых заявок на передачу данных. Ресурс для обслуживания заявки выделяется в виде макроканала, который интегрирует передаточные возможности нескольких канальных единиц. Обозначим через w скорость передачи информации, обеспечиваемую одним из имеющихся макроканалов. Величина w выражена в используемых единицах канального ресурса и меняется от 1 (минимальное значение скорости, соответствующее одной канальной единице) до v (максимальное значение скорости передачи, означающее использование всех канальных единиц линии). Будем предполагать, что величины скоростей макро-

каналов для каждой из d заявок, находящихся на обслуживании, определяются однозначным образом. Назначение скоростей макроканалов определяется используемой стратегией распределения канального ресурса. В сетях подвижной связи эту функцию реализует диспетчер пакетов. Основанием для выбора конкретной стратегии может служить либо необходимость следования структуре макроканалов, заданной стандартом передачи информации, либо желание максимально задействовать имеющийся канальный ресурс. Если в процессе поступления заявок или окончания их обслуживания изменяется значение d, то в соответствии с выбранной стратегией случайным образом происходит перераспределение скоростей макроканалов, используемых для передачи данных. Рассмотрим алгоритм выбора скоростей макроканалов, который разделяет имеющий ресурс передачи информации поровну, но с учетом имеющейся канальной структуры линии. Напомним, что она определяется выбором минимального значения скорости линии, предоставляемой для обслуживания поступающих заявок на передачу данных. В исследуемой ситуации скорость макроканала кратна одной канальной единице и в зависимости от числа обслуживаемых заявок принимает значения от одной к.е. до v к.е. Процедура образования макроканалов, с одной стороны, опирается на желание максимально задействовать имеющийся канальный ресурс линии, а с другой, разделить его по возможности поровну между всеми заявками, находящимися на обслуживании.

Обозначим через $x = \frac{v}{d}$ целую часть от деления v на d. Тогда для обслуживания d заявок предлагается использовать $v - x \cdot d$ макроканалов по $x + 1$ канальной единице и $d \cdot (x + 1) - v$ макроканалов по x канальных единиц. Нетрудно проверить, что при таком выборе скоростей макроканалов все имеющиеся v каналов заняты на обслуживания поступивших d заявок.

Математическое описание модели

Будем предполагать, что объем передаваемого файла имеет экспоненциальное распределение со средним значением F бит. Для обслуживания одной заявки выделяется один макроканал со скоростью w, в соответствии с принципами, сформулированными в предыдущем разделе работы. Длительность интервала времени обслуживания заявки имеет экспоненциальное распределение со средним значением $\frac{F}{r} = \frac{1}{\mu}$, если оно выполнялось только с использованием макроканала с единичной скоростью. Величина $\frac{F}{r}$ задает среднее значение максимально возможного времени пребывания заявки на обслуживании. Если происходит изменение скорости макроканала, то трансформации подвергается и остаточное время обслуживания рассматриваемой заявки. Оно по-прежнему будет иметь экспоненциальное распределение, но со средним значением, которое изменяется обратно пропорционально изменению скорости передачи.

Таким образом, при увеличении или уменьшении скорости передачи в той же пропорции, уменьшается или увеличивается среднее значение остаточного времени обслуживания заявки. Переход на другую скорость передачи данных осуществляется динамически в соответствии с загрузкой звена сети.

При малой загрузке, данные передаются с максимально возможной скоростью, которая поддерживается используемыми макроканалами, при большой загрузке – со скоростью, обеспечиваемой одной канальной единицей. Допустим, линия находится в состоянии (d). Обозначим через $\mu(d)$ параметр экспоненциального распределения длительности интервала времени до окончания обслуживания одной из d заявок, находящихся на обслуживании. Понятно, что выполняется соотношение $\mu(d) = v\,\mu$.

В исследуемой модели возможны потери поступивших заявок, поскольку имеется минимальная неделимая величина скорости передачи информации, равная одной канальной единице. По этой причине в системе на обслуживании одновременно могут находится не более, чем v заявок. Для оценки значений доли потерянных заявок, среднего числа занятых канальных единиц линии и средней длительности интервала времени доставки информационных сообщений достаточно знать величины доли времени пребывания линии в состояниях с фиксированным числом заявок, находящихся на обслуживании.

Это утверждение определяет вид состояния и тип случайного процесса, который будет использован для оценки значений введенных показателей. Обозначим через $d(t)$ число заявок на передачу данных, находящихся в системе в момент времени t. Динамика изменения общего числа обслуживаемых заявок описывается случайным марковским процессом $r(t) = d(t)$, определённым на конечном пространстве состояний S.

В него входят состояния (d), где величина d последовательно принимает значения 0, 1, . . . , v. Интенсивности и направления переходов процесса $r(t)$ показаны рис. 2. Из анализа приведенной диаграммы следует её идентичность диаграмме переходов марковского процесса рождения и гибели, описывающего процедуру поступления и обслуживания заявок в системе из n источников нагрузки, одного обслуживающего устройства и $v - 1$ места ожидания начала обслуживания.

Интенсивность поступления заявок от одного источника равна β, а интенсивность обслуживания устройства равна $v\mu$. Сформулированное утверждение позволяет считать статистически эквивалентными случайные процессы, описывающие число заявок в момент времени t в обеих моделях.

Из этого положения следует совпадение значений $p(d)$ стационарных вероятностей пребывания каждой из рассмотренных систем в состоянии (d). Предположим, что значения $p(d)$ известны и дадим определения основным показателям качества обслуживания поступающих заявок на передачу данных.

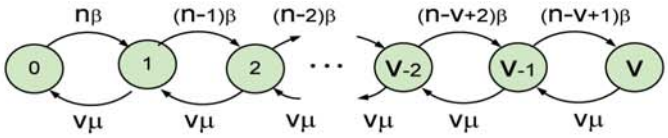


Рис. 2. Диаграмма переходов для процесса рождения и гибели *r(t)*, описывающего динамику изменений состояний модели с групповым каналообразованием

Показатели обслуживания заявок

Величина π_c доли заявок, получивших отказ в обслуживании из-за нехватки свободного ресурса передачи информации, определяется через отношение интенсивности заявок, получивших отказ, к общей интенсивности поступления заявок. Расчетное выражение имеет вид:

$$\pi_c = \frac{p(v)(n-v)\beta}{\sum_{d=0}^{v} p(d)(n-d)\beta}.$$

Значение π_t доли времени занятости передаточного ресурса линии определим через значение доли времени пребывания *r(t)* в состоянии *(v)*. Следовательно, $\pi_t = p(v)$. Обозначим через Λ величину интенсивности поступления заявок. Значение Λ определяется из соотношения:

$$\Lambda = \sum_{d=0}^{v} p(d)(n-d)\beta.$$

Величина *L* среднего числа заявок, пребывающих на обслуживании, рассчитывается из выражения

$$L = \sum_{d=1}^{v} p(d)d.$$

Среднее значение *W* длительности промежутка времени пребывания заявки в системе (средняя длительность интервала времени доставки информационного сообщения) находится из формулы Литтла и имеет вид

$$W = \frac{L}{\Lambda(1-\pi_c)}.$$

По построению модели величина объема информации, которая будет передана за промежуток времени обслуживания одной заявки, имеет экспоненциальное распределение со средним значением *F*. Выполняется соотношение

$$F = \frac{r}{\mu}.$$

Величина пропускной способности системы , предоставляемая одному пользователю, определяется из выражения

$$\vartheta = \frac{F}{W}.$$

Значение *m* среднего числа занятых канальных единиц линии вычисляется из следующего равенства

$$m = \sum_{d=1}^{v} p(d)v = (1-p(0))v.$$

Важной характеристикой эффективности использования канального ресурса является среднее число канальных единиц линии, занятых на обслуживание одной заявки. Обозначим эту характеристику символом *b*. Значение *b* находится из выражения

$$b = \frac{m}{L}.$$

Расчет показателей обслуживания заявок

Воспользовавшись диаграммой переходов, показанной на рис. 2, получим систему уравнений равновесия, связывающую ненормированные значения вероятностей *P(d)*.

Она имеет такой вид:

$$P(0)n\beta = P(1)v\mu \quad (1)$$

$$P(1)((n-1)\beta + v\mu) = P(0)n\beta + P(2)v\mu$$

$$P(d)((n-d)\beta + v\mu) = P(d-1)(n-d+1)\beta + P(d+1)v\mu,$$

$$P(v)v\mu = P(v-1)(n-d+1)\beta.$$

Найденные значения *P(d)* необходимо нормировать. Из приведенной системы уравнений равновесия нетрудно получить рекуррентное выражение, связывающее последовательные значения P(d). Искомая рекурсия представляет из себя соотношения детального баланса и записывается в виде следующих равенств:

$$P(d)(n-d)\beta = P(d+1)v\mu, \quad d = 0,1,\ldots,v-1. \quad (2)$$

Из (2) находим выражение для оценки величины *P(d)* через значение *P(0)*. Расчётные формулы выглядят так:

$$P(d) = P(0)n(n-1)(n-2)\ldots(n-d+1)\left(\frac{\beta}{v\mu}\right)^d =$$

$$= P(0)n(n-1)(n-2)\ldots(n-d+1)\rho^d.$$

В приведённом выражении *d* = 1, 2, … ,*v* и $\rho = \frac{\beta}{v\mu}$.

Окончательное соотношение для вычисления нормированных значений *p(d)* записывается следующим образом:

$$p(0) = \frac{1}{N},$$

$$p(d) = \frac{1}{N} \cdot n(n-1)(n-2)\ldots(n-d+1)\rho^d, \quad d = 1, 2,\ldots,v, \quad (3)$$

$$N = 1 + \sum_{i=1}^{v} n(n-1)\ldots(n-d+1)\rho^d.$$

Для оценки численных значений *p(d), d = 0, 1, … ,v* удобней использовать рекурсию (2), чем явные выражения (3). Воспользовавшись равенствами (2), получим альтернативные выражения для вычисления значений для части введенных характеристик модели. Сложив (2) по всем *d*, принимающим значения *0, 1, … , v – 1*, получаем равенство

$$m = (1-\pi_c)\frac{\Lambda}{\mu}.$$

Отсюда находим формулу для расчета *b*, имеющую вид

$$b = \frac{(1-\pi_c)}{L}\frac{\Lambda}{\mu} \quad (4)$$

Из полученного соотношения (4) и определения величины *W* находим альтернативное выражение для вычисления величины среднего времени обслуживания заявки

$$W = \frac{1}{b\mu}. \quad (5)$$

Доказанная формула имеет следующий очевидный физический смысл: использование в среднем *b* единиц канального ресурса для обслуживания одной заявки на передачу данных уменьшает среднюю длительность промежутка времени обслуживания заявки в *b* раз, если сравнить этот показатель с использованием для этих же целей одной канальной единицы.

Проведя компьютерное моделирование описанной модели, получены численные результаты. Заданы следующие входные параметры системы μ = 1, n = 20, v = 10. На рис. 3 представлена зависимость величины W, средней длительности интервала времени доставки информационного сообщения, от интенсивности предложенного трафика на канальную единицу ρ_k. Результаты вычислений показывают, что в большей степени ожидаемый эффект от использования переменной скорости передачи данных проявляет себя в области малых потерь.

На рис. 3 эта область соответствует интервалу изменения ρ_k от 0,3 до 0,9, где время передачи информации уменьшилось в разы, по сравнению с вариантом, когда заявки на передачу данных обслуживаются согласно модели Энгсета. Уменьшение времени передачи данных объясняется появившейся возможностью использования большего объема ресурса для обслуживания соответствующих заявок. Понятно, что объем выделяемого ресурса зависит от степени загрузки линии. Когда загрузка сети мала, трафик данных передается с максимальной скоростью, обеспечиваемой используемым семейством макроканалов. Происходит ускоренное освобождение ресурса линии от обслуживания трафика передачи данных. С точки зрения пользователя это означает, например, уменьшение времени скачивания документа.

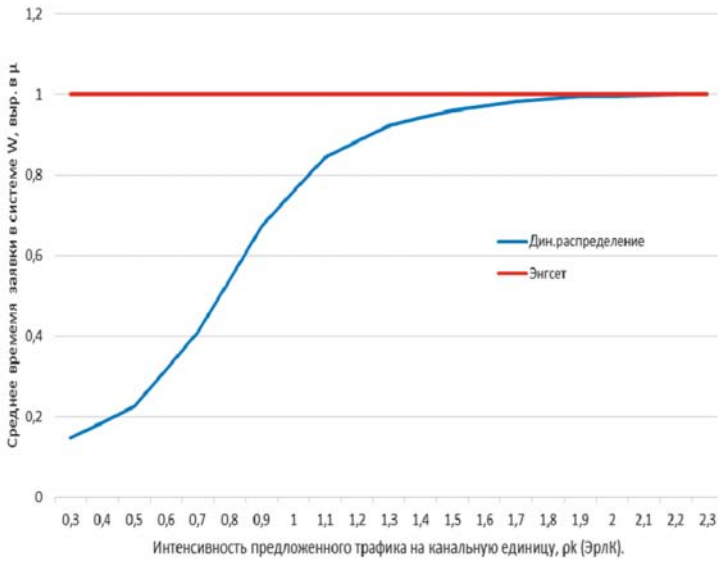


Рис. 3. Среднее значение длительности промежутка времени пребывания заявки в системе для разных вариантов распределения канального ресурса

Заключение

Построена модель совместного обслуживания заявок на передачу данных, поступающих от конечного числа пользователей услуг связи. ресурс передачи информации делится между поступающими заявками поровну в соответствии с виртуальной канальной структурой линии, определяемой величиной минимально возможной скорости передачи, выделяемой одному пользователю. Даны определения характеристик и получены соотношения для вычисления их значений. Построенную модель и алгоритм оценки значений характеристик можно использовать для определения минимальной скорости линии, достаточной для обслуживания поступающих заявок за промежуток времени не превосходящий заданной величины.

Литература

1. *Клейнрок Л.* Вычислительные системы с очередями / Пер. с англ. Под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Мир. 1979. – 600 с.

2. *Bonald T.* Insensitive traffic models for communication networks // Discrete Event Dynamic Systems. – 2007. – V. 17. – № 3. – Pp. 405-421.

3. *Лагутин В.С., Степанов С.Н.* Телетрафик мультисервисных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 320 с.

4. *Степанов С.Н.* Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №1. – С.18-33.

5. *Степанов С.Н.* Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.



CONSTRUCTION AND ANALYSING DATA TRANSMISSION MODEL ON ACCESS LINE WITH FINITE NUMBER OF SUBSCRIBERS

Sergey Stepanov, *Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), professor,*
stpnvsrg@gmail.com
Andrew Romanov, *Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), postgraduate,*
amromanov89@yandex.ru
Dmitry Osia, *Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), postgraduate,*
dimaosia@mail.ru

Abstract
A model of calls for data transmission coming from finite group of subscribers is constructed. In the model the dependence of input flow from number of subscribers generating calls is considered. Each source can be in two case: active (idle), or in the case of busy. When active a subscriber sends requests for servicing after random time having exponential distribution with parameter equals β. The maximum duration of the employment period of time source (the time of service of the application) takes a random time, which has an exponential distribution with parameter equal to μ. During all this time, to service the request uses the resources of the line in the amount of r bits per second. Resources to service the request is allocated as macrochannel, which integrates the capabilities of several transmission channel units. Viewed kind of traffic allow some delay in the process of transmitting data through the communication network. Marked property allows fulfill the data traffic transmission with changeable speed without loss quality of service. Traffic flows with indicated property appears when customer use web browsing, download or deliver files, make conversation using electronic mail and etc. Usually, current transmitting resource is shared equally between all accepted requests. Remapping of transport resources occurs in the time determined by the mechanism used to adapt the speed of delivery of information to the conditions of service requests. In this paper it is assumed that speed can change its value only in moments of changing the number of requests that are in the system. Algorithm of channel resource occupation is investigated and formal definitions of the main performance measures through values of stationary probabilities of the number of requests that are in the system are given. The constructed model can be used to estimate the speed of access lines required for data transfer with assigned performance delays.

Keywords: *access lines, finite group subscribers, data transmitting, dynamical allocation of channel resource.*

References

1. *Bonald T.,* 2007, 'Insensitive traffic models for communication networks', Discrete Event Dynamic Systems, vol. 17, No. 3, pp. 405-421. (*in Russian*)
2. *Kleinrock L.*, 1976, 'Queueing Systems: Volume II – Computer Applications', New York: Wiley Interscience, p. 576.
3. *Lagutin V.S., Stepanov S.N.,* 2000, 'Teletraffic of multiservice communication networks', M : Radio and Communications, p. 320. (*in Russian*)
4. *Stepanov S.N.,* 2010, 'Model service traffic services and real-time data to dynamically change the transmission rate', Automation and Remote Control, N 1, pp.18-33. (*in Russian*)
5. *Stepanov S.N.,* 2010, 'Foundation of teletraffic of multiservice networks', Moscow. Eco-Trendz, p. 392. (*in Russian*)