

УДК 621.395.019.3

Оценка влияния повторных вызовов на функционирование мультисервисной сети с адаптивной маршрутизацией

В.И. Мейкшан, П.А. Ищук, С.В. Шедоева

Рассматривается мультисервисная телекоммуникационная сеть с адаптивной (динамической) маршрутизацией по методу LLR и анализируется качество функционирования сети на этапе установления соединения. Представлена математическая модель сети, позволяющая учесть влияние повторных попыток получить соединение. На основе этой модели построен алгоритм для приближённой оценки интенсивности потоков повторных попыток и вероятности блокировки поступающих вызовов. Приводятся результаты численных расчётов.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, адаптивная маршрутизация, повторные вызовы, вероятность блокировки, алгоритм расчёта.

1. Введение

В зависимости от своей настойчивости, абонент сети связи с определённой интенсивностью может совершать повторные попытки доступа к требуемой услуге, пока сделанные им вызовы получают отказ в обслуживании. В результате этих действий повышается загруженность ресурсов сети связи и, как следствие, снижается качество предоставляемых услуг. Указанные негативные обстоятельства требуют усложнения используемых математических моделей с целью более достоверного описания процесса взаимодействия между сетью связи и абонентами.

Если говорить об оценке качества услуг связи с точки зрения абонента, то необходимость учитывать влияние повторных вызовов уже давно не подвергается сомнению [1]. Тем не менее, в известных методах анализа пропускной способности сетей связи это делается далеко не всегда, что приводит к слишком оптимистическим оценкам качества обслуживания поступающих вызовов и существенным ошибкам при определении требуемого объёма канальных ресурсов на участках сети.

2. Формальное описание объекта исследования и постановка задачи

Рассмотрим мультисервисную сеть (МСС), элементами которой являются: 1) узлы коммутации пакетов (маршрутизаторы); 2) цифровые линии (ЦЛ), обеспечивающие связи между узлами по принципу «каждый с каждым». Для идентификации линий связи всем ЦЛ приписаны уникальные номера, и передача общего цифрового потока по линии с номером l ($ЦЛ_l$; $l=\overline{1, L}$) может осуществляться с максимальной скоростью V_l , что характеризует пропускную способность этого участка сети.

Сеть предназначена для обслуживания неоднородной совокупности информационных потоков (ИП), которые имеют разные потребности в ресурсах сети. В частности, входящий поток с номером k ($ИП_k$; $k=\overline{1, K}$) характеризуется следующими параметрами:

- 1) первичные заявки на доставку сообщений поступают с постоянной интенсивностью λ_k ;
- 2) требуемая скорость передачи данных по сквозному маршруту доставки пакетов между источником вызова и пунктом назначения не должна быть ниже величины D_k ;
- 3) среднее время занятия выделенных ресурсов сети в течение одного сеанса связи равно h_k .

В соответствии с известными подходами к математическому описанию процессов обслуживания неоднородного трафика в мультисервисных сетях связи [2–4], пропускную способность элементов сети, а также потребности в ресурсах при пакетных технологиях доставки сообщений принято выражать с помощью условной единицы канального ресурса (Basic Bandwidth Unit — BBU). Скорость передачи, которая соответствует одной BBU, определяется следующим образом:

$$c_{BBU} = \text{НОД}(V_1, \dots, V_L, D_1, \dots, D_K). \quad (1)$$

Использование такой единицы при измерении ресурсов пропускной способности элементов МСС позволяет получить целочисленное представление для максимальной скорости передачи цифрового потока по ЦЛ: $c_i = V_i / c_{BBU}$. В результате на каждом участке сети высокоскоростная среда, по которой поочередно в режиме статистического мультиплексирования передаются пакеты для разных потоков, формально разделяется на условные единицы рассматриваемого канального ресурса, предоставляемого отдельным вызовам на время сеанса связи. В частности, для обслуживания вызова, который относится к потоку ИП_k, потребуется в течение среднего времени h_k по всем ЦЛ в маршруте доставки пакетов между источником и получателем сообщения одновременно выделять $b_k = D_k / c_{BBU}$ единиц канального ресурса. После завершения сеанса связи все эти ресурсы одновременно освобождаются.

Будем предполагать, что в сети применяется динамическая (адаптивная) маршрутизация по методу LLR (Least Loaded Routing), при которой для прокладки маршрута доставки пакетов всегда выбирается наименее загруженный маршрут между конечными пунктами сети, т.е. сквозной путь с максимальным количеством свободных канальных ресурсов. Если с точки зрения загруженности доступных маршрутов имеется несколько равноценных вариантов, то выбирается самый короткий путь, а для нескольких минимально загруженных путей с одинаковой длиной применяется случайный выбор. Рассматриваемый метод маршрутизации позволяет обходить перегруженные участки сети, что способствует более равномерному распределению потоков трафика [5].

На уровне соединения (предоставления сеанса связи) качество функционирования (КФ) рассматриваемой сети характеризуется вероятностью того, что поступивший вызов получит отказ в обслуживании, т.е. будет заблокирован из-за отсутствия необходимого количества свободных канальных ресурсов. Процедура вычисления этого показателя зависит от многих факторов, среди которых наиболее важная роль принадлежит алгоритму маршрутизации.

К настоящему времени имеется готовый программный продукт [6], который реализует описанный в [7] метод расчёта вероятности блокировки поступающих вызовов для мультисервисной сети с динамической (адаптивной) маршрутизацией. Однако этот инструментарий не учитывает влияния повторных попыток, которые возникают в случае, когда сеть не обладает возможностью выделения поступившему вызову необходимого объёма канальных ресурсов. В дальнейшем будут изложены все необходимые дополнения, которые направлены на устранение этого недостатка.

3. Общий подход к анализу КФ МСС при адаптивной маршрутизации

Пусть для k -го входящего потока (ИП_k; $k = \overline{1, K}$) допустимые маршруты доставки пакетов образуют совокупность $G_k = \{g_{km}\}$, где отдельный маршрут g_{km} задается последовательностью номеров ЦЛ, входящих в состав этого маршрута. Будем предполагать, что при поступлении вызовов, которые относятся к потоку ИП_k, выбор маршрута g_{km} происходит с вероятностью $q(g_{km})$, причём

$$\sum_{g_{km} \in G_k} q(g_{km}) = 1. \quad (2)$$

С вероятностью $B(g_{km})$ выбранный маршрут не обладает свободными канальными ресурсами, которые достаточны для предоставления виртуального соединения, и по этой причине будет приниматься решение о блокировке вызова. Тогда для потока ИП_k вероятность блокировки поступающих вызовов можно вычислить следующим образом:

$$\pi_k = \sum_{g_{km} \in G_k} q(g_{km})B(g_{km}). \quad (3)$$

Формула (3) является достаточно распространённым приближением для сетей с фиксированной (статической) многопутевой маршрутизацией, когда вероятности $\{q(g_{km})\}$ заранее определены и фактически выражают коэффициенты пропорциональности при распределении потока ИП_k между всеми доступными маршрутами из множества G_k . Вычисление этих коэффициентов обычно происходит по тем или иным метрикам, значения которых приписываются отдельным маршрутам, и в качестве одной из таких метрик часто используется усреднённая загруженность маршрута [5]. В дальнейшем излагается более сложная процедура вычисления рассматриваемых коэффициентов на основе вероятностных распределений, которые более полно описывают стохастический характер загруженности отдельных участков сети. Для случая стационарного (установившегося) режима функционирования исследуемой сети это позволяет с помощью формулы (3) учесть особенности алгоритма адаптивной (динамической) маршрутизации.

4. Математическая модель МСС с адаптивной маршрутизацией

Теперь более подробно рассмотрим основные математические соотношения, которые в совокупности составляют формальную модель исследуемой телекоммуникационной сети. Ключевым моментом этой модели является оценка характеристик неоднородного мульти-сервисного трафика для каждого участка сети с использованием приближённого метода просеянной нагрузки (Reduced Load Approximation — RLA).

Среди заявок, принадлежащих потоку ИП_k, выделим только те из них, которым для установления сквозного виртуального соединения осталось получить необходимый канальный ресурс на j -м звене МСС. Моменты поступления этих заявок формируют поток с интенсивностью

$$\nu_{jk} = \lambda_k \sum_{g_{km} \in G_k} q(g_{km})I(j \in g_{km})\sigma_j(g_{km}), \quad (4)$$

где $I(\square)$ — индикаторная функция, а коэффициент $\sigma_j(g_{km})$ учитывает так называемый «эффект просеивания нагрузки», возникающий при использовании многозвенных маршрутов [2–4].

Пусть β_{ik} — вероятность того, что i -я ЦЛ ($i = \overline{1, L}$) имеет свободную полосу передачи размером не менее b_k единиц пропускной способности (BBU). Тогда, если предполагать независимыми отказы в выделении канального ресурса на отдельных участках сети, получаем

$$\sigma_j(g_{km}) = \prod_{\substack{i \in g_{km} \\ i \neq j}} \beta_{ik}.$$

Следовательно, для j -го звена сети объединённый поток поступающих вызовов k -го типа, «просеянный» за счёт блокировок на других ЦЛ, имеет суммарную интенсивность

$$v_{jk} = \lambda_k \sum_{g_{km} \in G_k} q(g_{km}) I(j \in g_{km}) \prod_{\substack{i \in g_{km} \\ i \neq j}} \beta_{ik}. \quad (5)$$

После того как для j -й ЦЛ ($j = \overline{1, L}$) найдены значения v_{jk} при всех $k = \overline{1, K}$, можно произвести расчёт вероятностей укрупнённых состояний, которые характеризуются общим объёмом (n) занятых канальных ресурсов на этом участке МСС [2–4]:

$$\left. \begin{aligned} p_j^*(0) &= 1; \\ p_j^*(n) &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K b_k v_{jk} h_k p_j^*(n - b_k); \quad n = \overline{1, C_j}; \\ p_j(n) &= p_j^*(n) / \sum_{s=0}^{C_j} p_j^*(s); \quad n = \overline{0, C_j}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Формулы (6), в которых $p_j^*(n) = 0$ при $n < 0$, позволяют путём несложных рекуррентных вычислений найти обобщённое распределение Эрланга для макросостояний полнодоступного участка МСС, обслуживающей неоднородную пуассоновскую нагрузку.

После этого легко определить вероятность того, что j -я линия связи располагает свободными ресурсами пропускной способности, достаточными для участия в обслуживании поступившего вызова, который принадлежит входному потоку ИП $_k$:

$$\beta_{jk} = 1 - \sum_{n=C_j-b_k+1}^{C_j} p_j(n) = \sum_{n=0}^{C_j-b_k} p_j(n). \quad (7)$$

На основе дискретных распределений $\{p_j(n); n = \overline{0, C_j}\}$, описывающих стохастический характер загруженности отдельных участков сети ($j = \overline{1, L}$), можно также вычислить $q(g_{km})$ — вероятность того, что среди всех маршрутов из множества G_k наименее загруженным является маршрут g_{km} . Если остаточные ресурсы пропускной способности маршрута g_{km} удовлетворяют соответствующим требованиям, то именно по этому маршруту должно устанавливаться виртуальное соединение для поступившего вызова.

Чтобы определить вероятность $q(g_{km})$, потребуется рассмотреть следующие случайные события [7]: $E_n(g_{km})$ — каждое звено в составе маршрута g_{km} имеет не менее n свободных ВВУ; $\bar{E}_n(g_{km})$ — хотя бы для одного звена, входящего в маршрут g_{km} , число свободных ВВУ меньше n ; $\tilde{E}_n(g_{km})$ — каждое звено в составе маршрута g_{km} имеет не менее n свободных ВВУ, и при этом хотя бы для одного звена рассматриваемого маршрута число свободных ВВУ равно в точности n . Вероятности этих событий вычисляются следующим образом [7]:

$$\left. \begin{aligned} Pr[E_n(g_{km})] &= \prod_{j \in g_{km}} \sum_{s=0}^{C_j-n} p_j(s); \\ Pr[\bar{E}_n(g_{km})] &= 1 - Pr[E_n(g_{km})]; \\ Pr[\tilde{E}_n(g_{km})] &= Pr[E_n(g_{km})] - Pr[E_{n+1}(g_{km})]. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Тогда окончательно [7]

$$q(g_{km}) = \sum_{n=0}^{C_{\min}(g_{km})} \prod_{s=1}^{m-1} Pr[\bar{E}_n(g_{ks})] \prod_{s=m+1}^{|G_k|} Pr[\bar{E}_{n+1}(g_{ks})] Pr[\tilde{E}_n(g_{km})], \quad (9)$$

где $C_{min}(g_{km}) = \min_{j \in g_{km}} C_j$.

При записи соотношения (9) предполагается, что все маршруты в составе множества G_k независимы друг от друга, т.е. не имеют общих звеньев. Это предположение является правоммерным, если в полносвязной неиерархической сети для доставки сообщений используются только прямые пути или обходные маршруты через один транзитный узел.

Рассмотренные соотношения (4)–(9) образуют систему нелинейных алгебраических уравнений относительно неизвестных v_{jk} , β_{jk} , $p_j(n)$ и $q(g_{km})$. После решения этой системы сначала находим

$$B(g_{km}) = 1 - \prod_{j \in g_{km}} \beta_{jk}, \quad (10)$$

а затем окончательно по формуле (3) можем получить π_k — вероятность блокировки вызовов, которые относятся к входному потоку ИП_k.

5. Алгоритм вычислений

Процедура вычислений для получения характеристик качества обслуживания вызовов (КОВ) мультисервисной сети с адаптивной маршрутизацией включает в себя следующую последовательность действий.

Шаг 1. Найти начальные значения вероятности блокировки вызовов разных классов на отдельных участках сети.

Шаг 2. С помощью соотношения (5) найти интенсивности просеянных ИП для каждого участка сети.

Шаг 3. По формулам (6) для каждого участка сети произвести расчёт распределения вероятностей макросостояний, которые характеризуются общим объёмом занятых канальных ресурсов.

Шаг 4. Используя соотношения (8) и (9), в пределах каждого множества G_k ($k = \overline{1, K}$) определить вероятности $\{q(g_{km})\}$ для выбора отдельных маршрутов доставки пакетов ($g_{km} \in G_k$).

Шаг 5. Циклически повторять шаги 2–4 до получения стабильных значений неизвестных величин v_{jk} , β_{jk} , $p_j(n)$ и $q(g_{km})$.

Шаг 6. По формулам (10) и (3) вычислить вероятность блокировки для каждого класса вызовов по отношению к конечным пунктам мультисервисной сети.

Общие вопросы сходимости подобных итерационных процедур, широко используемых при оценке вероятности блокировки поступающих вызовов для МСС, изложены в [2–4], а применительно к сетям с адаптивной (динамической) маршрутизацией — в [7]. Там же обсуждаются различные варианты формальных критериев останова итерационного процесса.

6. Обслуживание вызовов с резервированием канальных ресурсов

Известно [2–4], что отсутствие в мультисервисных сетях связи предпочтений при обслуживании вызовов разных классов приводит к росту вероятности их потерь по мере увеличения b_k . Следовательно, для выравнивания потерь вызовов необходимо организовать их обслуживание так, чтобы шансы предоставления требуемых канальных ресурсов были по возможности одинаковыми. Это достигается путём применения стратегии доступа с резервированием канальных ресурсов.

Чтобы реализовать процедуру резервирования, k -му входному потоку ($k = \overline{1, K}$) поставим в соответствие целое число θ_k , которое называется параметром резервирования канальных ресурсов для этого потока. Тогда вызов k -го типа, у которого потребность в скорости передачи данных равна b_k , будет получать отказ в обслуживании, если в момент его поступления объём

ём свободных канальных ресурсов у каждого доступного маршрута меньше $b_k + \theta_k$. В противном случае вызов принимается к обслуживанию.

Соответствующим подбором параметров $\{\theta_k; k = \overline{1, K}\}$ можно обеспечить более высокий уровень резервирования ресурсов пропускной способности сети для тех ИП, которым они нужны в большем количестве. В результате выравнивается качество обслуживания разных входных потоков. Однако это достигается за счёт некоторого уменьшения коэффициента использования канальных ресурсов.

В случае, когда при обслуживании поступающих вызовов применяется резервирование канальных ресурсов, формула для вычисления $p_j^*(n)$ с помощью рекуррентной процедуры (6) приобретает следующий вид [4]:

$$p_j^*(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K b_k v_{jk} h_k p_j^*(n - b_k) I(b_k \leq n \leq C_j - \theta_k); n = \overline{1, C_j}.$$

Необходимо также соответствующим образом изменить соотношение (7):

$$\beta_{jk} = 1 - \sum_{n=C_j - b_k - \theta_k + 1}^{C_j} p_j(n) = \sum_{n=0}^{C_j - b_k - \theta_k} p_j(n).$$

7. Учёт влияния повторных вызовов

В качестве набора параметров, характеризующих поведение абонента при неудачной попытке получить доступ к требуемой услуге, будем использовать интенсивность повторения (μ_n), а также вероятности повторения – после самой первой попытки (H_1) и после любой по счету повторной попытки (H_2). Как показывают статистические исследования [1], в совокупности эти параметры достаточно полно учитывают наиболее важные факторы воздействия повторных вызовов на работу систем связи.

На основе анализа современных методов расчёта систем с повторными вызовами можно констатировать широкое использование упрощённого допущения о пуассоновском характере суммарного потока первичных и повторных вызовов. Для сравнительно простых систем массового обслуживания теоретически доказано, что такой приближённый подход асимптотически точен в случае, когда $\mu_n \rightarrow 0$. Корректность его применения для расчёта сетей связи обусловлена большим числом случайных факторов, от которых зависит выбор конкретного пути к пункту назначения при установлении виртуального соединения. По этой причине поток повторных вызовов будет слабо изменяться в зависимости от структуры сети, т.е. влияние параметра μ_n на вероятностные характеристики КОВ значительно снижается.

Чтобы примитивный поток повторных вызовов приближённо заменить простейшим потоком, принято использовать соотношения, получившие название законов сохранения [1]. Такие соотношения, которые можно записать для любой системы с повторными вызовами, имеют простой физический смысл и связывают между собой интенсивности входных и выходных потоков. В частности, при условии статистического равновесия интенсивность поступления повторных вызовов от N_k источников, создающих входной поток ИП_k, равна интенсивности потока событий, приводящих к появлению этих источников:

$$N_k \mu_n = \lambda_k \pi_k' H_1 + N_k \mu_n \pi_k'' H_2.$$

Вероятностные характеристики качества обслуживания π_k' и π_k'' относятся здесь, соответственно, к первичным и повторным вызовам. Когда $\mu_n \rightarrow 0$, поток повторных вызовов незначительно отличается по своим свойствам от пуассоновского потока с некоторой неизвестной интенсивностью λ_k' и приближёнными оценками указанных величин могут служить

соответствующие вероятностные характеристики упрощённой модели, имеющие смысл общих потерь по вызовам:

$$\pi'_k = \pi''_k = \pi_k.$$

Естественно, что ошибка такой аппроксимации окажется ниже, если для найденных оценок выполняется соотношение, по форме совпадающее с записанным выше законом сохранения:

$$\lambda'_k = \lambda_k \pi_k H_1 + \lambda'_k \pi_k H_2.$$

Отсюда нетрудно получить выражение

$$A_k = \lambda_k \left(1 + \frac{\pi_k H_1}{1 - \pi_k H_2} \right), \quad (11)$$

где $A_k = \lambda_k + \lambda'_k$ — суммарная интенсивность поступления первичных и повторных вызовов, которые относятся к потоку ИП_k.

Ввиду того, что вероятности потерь поступающих вызовов ($\pi_k; k=\overline{1, K}$) зависят от вектора суммарных интенсивностей $\|A_k; k=\overline{1, K}\|$, совокупность равенств (11), относящихся ко всем информационным потокам $\{\text{ИП}_k; k=\overline{1, K}\}$, образует систему неявных уравнений с неизвестными $A_k (k=\overline{1, K})$. Для решения этой системы возможно применение какого-либо итерационного метода. В частности, при использовании метода последовательных приближений вычисления начинаются с вектора $\|A_k^{(0)}\| = \|\lambda_k\|$ и очередная s -я итерация ($s \geq 1$) включает в себя следующие действия:

1. Д
для потоков вызовов, заданных вектором $\|A_k^{(s-1)}\|$, с помощью алгоритма расчёта потерь в исследуемой МСС (раздел 5) определяем вероятности $(\pi_k^{(s-1)}; k=\overline{1, K})$.
2. П
о формуле (11) находим элементы вектора $\|A_k^{(s)}\|$.

Условием завершения описанного итерационного процесса служит неравенство $\Delta < \Delta^*$, где $\Delta = \max_k |A_k^{(s)} - A_k^{(s-1)}|$, а Δ^* — заданная абсолютная погрешность решения. Значения $(\pi_k^{(s)}; k=\overline{1, K})$, полученные в последней из выполненных итераций, дают приближённую оценку КОВ в мультисервисной сети с динамической маршрутизацией с учётом влияния повторных вызовов.

8. Численные результаты

Для проверки обоснованности исходных предпосылок, положенных в основу используемой математической модели, были проведены контрольные расчёты на примере неиерархической мультисервисной сети, топология которой показана на рис. 1. Пропускная способность цифровых соединительных линий в этой сети характеризуется вектором $C = \|C_i; i=\overline{1, L}\| = \|8; 8; 10; 14; 9; 7\|$. Табл. 1 содержит данные о следующих параметрах каждого из входных информационных потоков (ИП):

- 1) интенсивность поступления первичных вызовов (за условную единицу времени принимается средняя продолжительность сеанса связи);
- 2) потребность в скорости передачи (количество базовых передаточных единиц — ВВУ);
- 3) параметр резервирования канальных ресурсов.

С целью облегчения расчётов будем предполагать, что для параметров настойчивости абонентов выполняется условие $H_1 = H_2 = H$.

Каждому ИП доступен прямой однозвенный маршрут, а также пара двухзвенных маршрутов (с транзитом через один узел). К примеру, $G_1 = \{g_{11}, g_{12}, g_{13}\}$, где $g_{11} = \{1\}$, $g_{12} = \{2, 5\}$, $g_{13} = \{4, 6\}$.

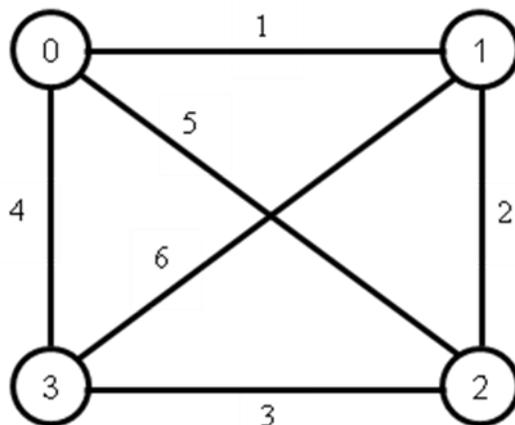


Рис. 1. Топология неиерархической МСС

Таблица 1. Параметры обслуживаемых информационных потоков

Номер ИП (k)	1	2	3	4	5	6
Оконечные пункты для ИП	0 – 1	0 – 2	0 – 3	1 – 2	1 – 3	2 – 3
λ_k	1	1.9	0.8	1.85	0.35	1
b_k	1	2	3	1	2	3
θ_k	2	1	0	2	1	0

Оценку относительного приращения интенсивности потока ИП $_k$ за счёт объективных факторов, учитывающих поведение абонентов, даёт число повторных вызовов на один первичный:

$$M_k = \frac{\lambda'_k}{\lambda_k} = \frac{\Lambda_k - \lambda_k}{\lambda_k} = \frac{\Lambda_k}{\lambda_k} - 1.$$

Для отдельных входных потоков зависимости M_k от вероятности H , которая характеризует настойчивость абонентов, представлены на рис. 2.

Среднее число повторных вызовов на один первичный

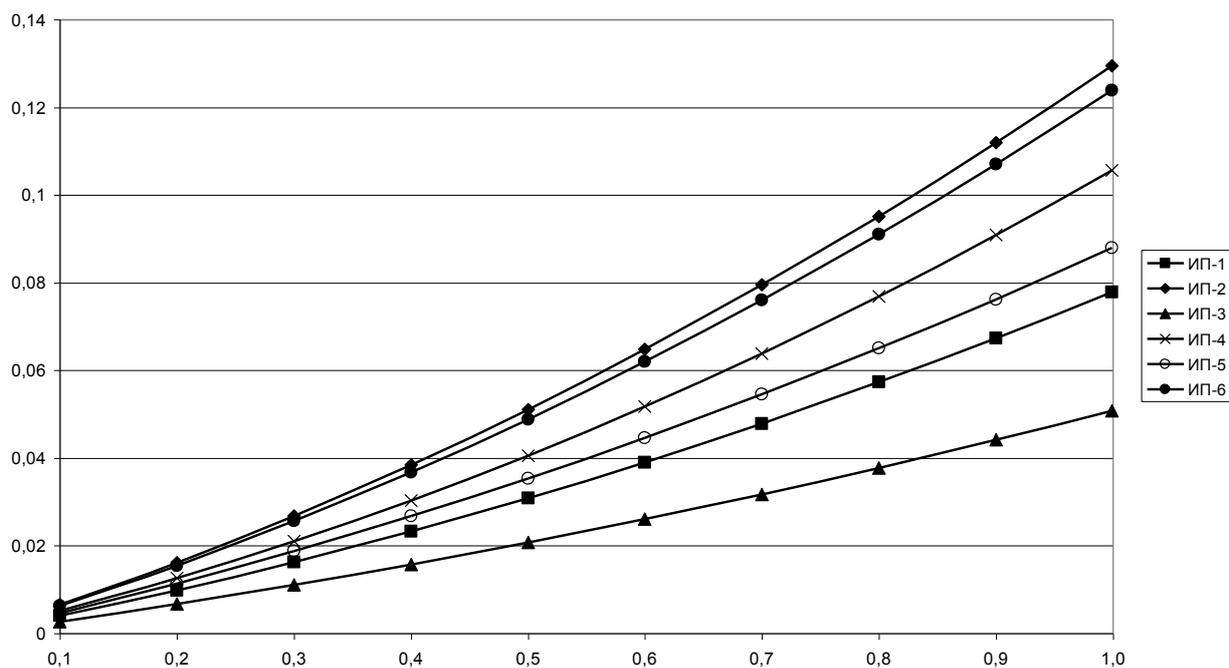


Рис. 2. Зависимости $M_k = \varphi_k(H)$ для отдельных ИП $_k$ ($k = \overline{1, 6}$)

Характер этих зависимостей наглядно свидетельствует о том, что пренебрежение наличием повторных попыток будет приводить к существенным ошибкам при определении поступающей нагрузки.

Вполне естественно, что с увеличением дополнительной нагрузки, обусловленной эффектом повторных вызовов, растёт общая доля попыток (первичных и повторных), которые получают отказ в обслуживании из-за недостаточности канальных ресурсов сети (рис. 3).

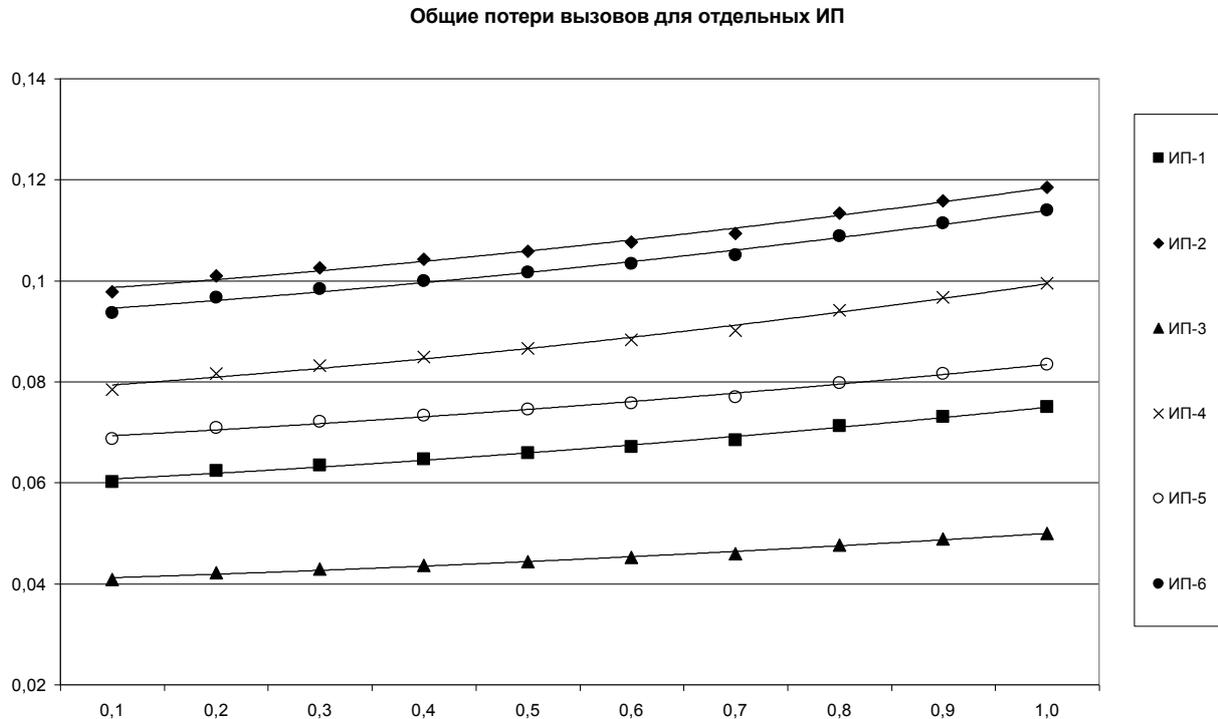


Рис. 3. Зависимости $\pi_k = \psi_k(H)$ для отдельных ИП $_k$ ($k=1, 6$)

При этом совместный анализ графиков на рис. 2 и 3 позволяет констатировать, что возможность повторения неудачной (заблокированной) заявки на обслуживание приводит к более существенному негативному влиянию для тех входных потоков, которые характеризуются более высоким уровнем блокировки поступающих вызовов.

Влияние настойчивости абонентов на общий трафик в целом по сети иллюстрирует семейство кривых на рис. 4. Здесь относительное приращение суммарной интенсивности поступающих вызовов (A_{Σ}) из-за наличия повторных вызовов оценивается с помощью аналогичного по смыслу показателя:

$$M_{\text{общ}} = \frac{A_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma}} - 1 = \frac{\sum_{k=1}^N A_k}{\sum_{k=1}^N \lambda_k} - 1.$$

При рассмотрении суммарного трафика, который создается всеми ИП, общая вероятность блокировки поступающих вызовов (первичных и повторных) определяется следующим образом:

$$\pi_{\Sigma} = \frac{\sum_{k=1}^N A_k b_k \pi_k}{\sum_{k=1}^N A_k b_k}.$$

Если сравнивать с асимптотическими условиями предельно низкой настойчивости абонентов ($H \rightarrow 0$), то увеличение этой вероятности (т.е. степень ухудшения качества обслуживания поступающих вызовов) можно оценить с помощью коэффициента $\varepsilon_{\text{общ}} = \frac{\pi_{\Sigma}(H)}{\pi_{\Sigma}(H \rightarrow 0)}$. Зависимости $\varepsilon_{\text{общ}} = F(H)$ для этого коэффициента представлены

на рис. 5.

Семейства кривых на рис. 4 и 5 охватывают случай номинальной нагрузки (базовый вариант v_0 , который соответствует данным из табл. 1), а также две ситуации повышения ин-

тенсивностей λ_k ($k=\overline{1,6}$) для всех потоков первичных вызовов: на 20% (вариант v1) и на 40% (вариант v2). Каждый из перечисленных вариантов может относиться, например, к определённым интервалам времени в течение суток.

Среднее число повторных вызовов на один первичный

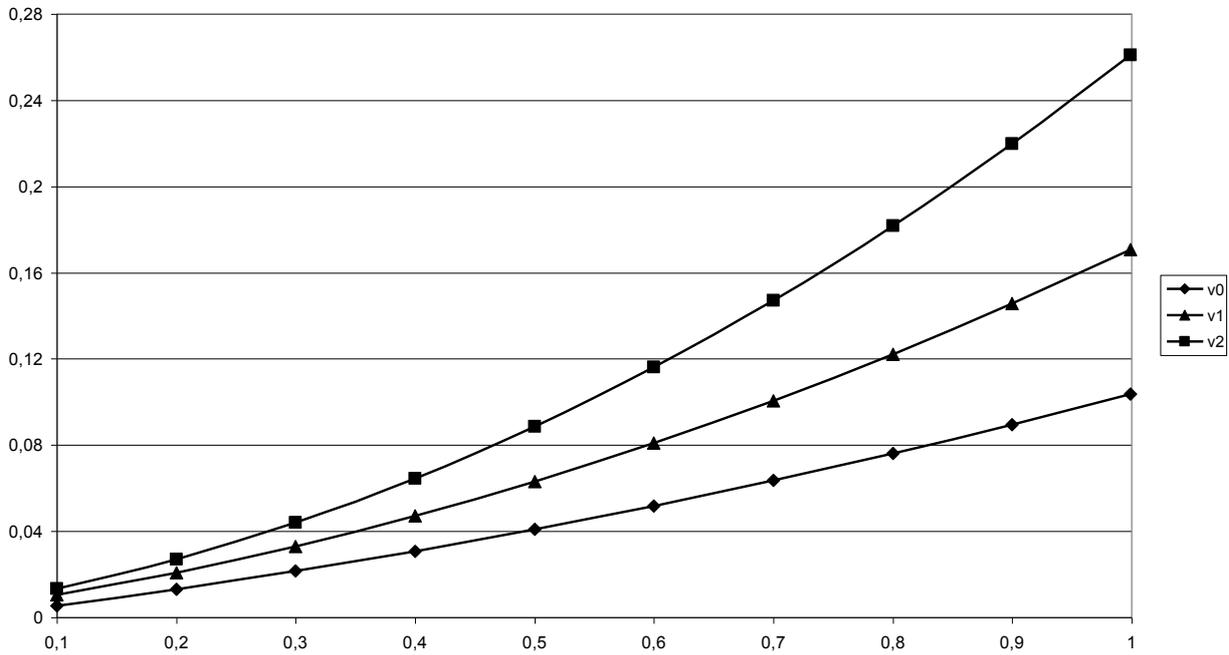


Рис. 4. Зависимости $M_{\text{общ}}=f(H)$ для разных уровней интенсивности первичных потоков

Относительное увеличение общей вероятности блокировки (за счет влияния повторных вызовов)

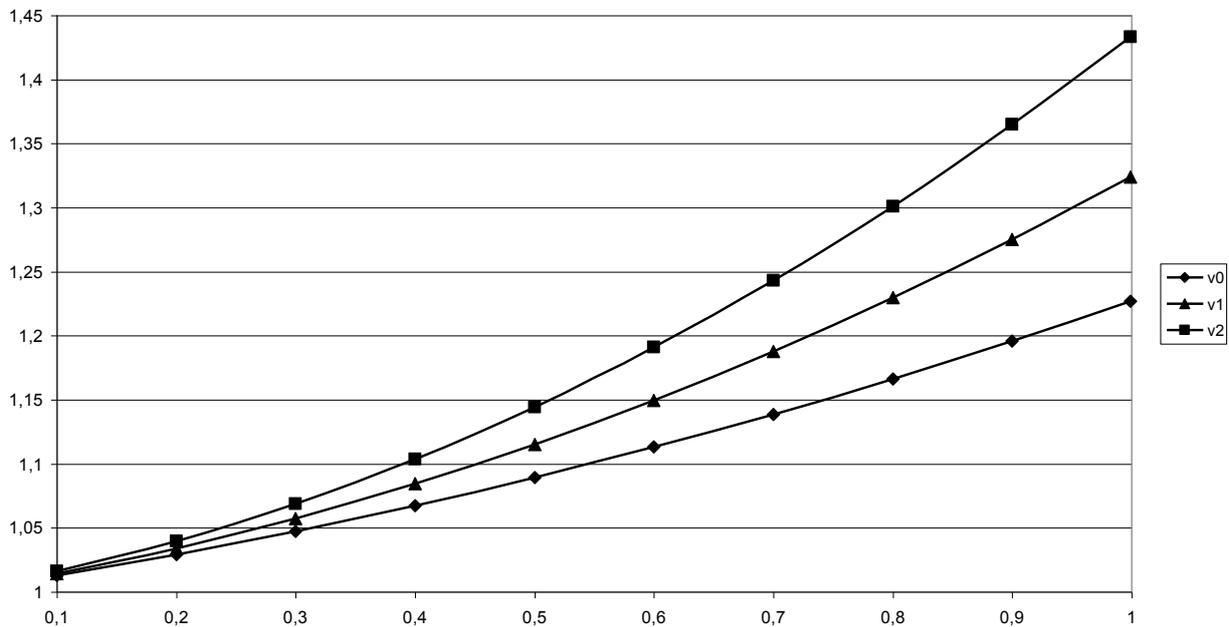


Рис. 5. Зависимости $\varepsilon_{\text{общ}}=F(H)$ для разных уровней интенсивности первичных потоков

Представленные графики демонстрируют существенное изменение картины занятости ресурсов МСС под влиянием повторных вызовов. Здесь наглядно прослеживается лавинообразный эффект положительной обратной связи, когда перегрузка сети приводит к увеличению интенсивности входных потоков (за счёт существенной добавки повторных вызовов), что, в свою очередь, еще больше усиливает степень ухудшения качества обслуживания вы-

зовов и другие негативные последствия — например, снижение коэффициента занятости с ответом (КЗО) как основного показателя оценки эффективности обслуживания вызовов для сетей общего пользования.

Литература

1. Степанов С.Н. Численные методы расчёта систем с повторными вызовами. – М.: Наука, 1983.
2. Ross K.W. Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunication Networks. – London, Berlin, New-York: Springer-Verlag, 1995. – 343 p.
3. Лагутин В.С., Степанов С.Н. Телетрафик мультисервисных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 320 с.
4. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 391 с.
5. Medhi D., Ramasamy K. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures. – Morgan Kaufmann Publishers, 2007. – 957 p.
6. Ищук П.А., Мейкшан В.И. Программа вычисления показателей качества обслуживания вызовов мультисервисной сети с адаптивной маршрутизацией // Хроники объединённого фонда электронных ресурсов «Наука и образование» (ОФЭРНиО). – №3 (22). – 2011. – № 16779.
7. Liu M., Baras J.S. Fixed Point Approximation for Multirate Multihop Loss Networks with State-Dependant Routing // *IEEE/ACM Trans. on Networking*. – 2004. – Vol. 12. – No. 2. – P. 361–374.

Статья поступила в редакцию 04.06.2012

Мейкшан Владимир Иванович

д.т.н., профессор кафедры ТСиВС СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)
тел. (383) 269-82-73, e-mail: MeikshanVI@gmail.com

Ищук Павел Александрович

инженер Межрегионального учебного центра переподготовки специалистов при СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86) тел. (383) 269-83-01, e-mail: home.inc@mail.ru

Шедоева Светлана Васильевна

к.т.н., доцент, директор Бурятского филиала СибГУТИ (670005, г. Улан-Удэ, ул. Труба-чьева, 152) тел. (3012) 43-16-44, e-mail: svetlanashedoeva@mail.ru

Influence Estimation of Blocked Calls Retrials on Performance of Multi-Service Network with Adaptive Routing

V.I. Meikshan, P.A. Ishchuk, S.V. Shedoeva

Multi-service telecommunication network is studied under adaptive (dynamic) routing in accordance with LLR method and GOS parameters are analyzed at connection level with effect of blocked call retrials. The network mathematical model is presented taking into account the influence of repeated attempts to get connection. On the basis of this model, the algorithm is proposed for evaluating approximately the intensity of repeated attempts flows and call blocking probability. The applicability of constructed model and algorithm is demonstrated by numerical results.

Keywords: multi-service network; adaptive routing; repeated calls; blocking probability; calculation algorithm.