

при необходимости виртуальные блоки на реальное оборудование.

4. В дальнейшем разработанная модель позволит дать рекомендации по повышению эффективности систем мониторинга реальных IPTV сетей передачи данных и, как следствие, обеспечить широкое внедрение цифрового телевизионного вещания в мультисервисных сетях.

### Литература

1. Карякин В.Л. Цифровое телевидение. М.: Солон-Пресс, 2008. – 272 с.
2. Масленников И.О. Перспективы развития IPTV в России // Электросвязь, № 2, 2007. – С.7-8.
3. Ширяев Д. Построение мультисервисной сети IPTV. URL: <http://infosfera.sfo.ru> (дата обращения 10.12.10)
4. Косенко С.Г., Карякин Д.В. Исследование параметров оценки качества IPTV // Сб. трудов МНПК «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010». Одесса: Черноморье, 2010. – С. 78-85.
5. Availability H. White paper – Network Management Solution: Optimize Infrastructure for IPTV Services. URL: <http://www.cisco.com> (10.12.10).
6. GNS3. URL: <http://www.gns3.net> (10.12.10).
7. VideoLAN: Free Multimedia Solutions. URL: <http://www.videolan.org> (10.12.10).
8. MiniSAPServer. URL: <http://wiki.videolan.org/MiniSAPServer> (10.12.10).

## DEVELOPMENT OF MODEL FOR MONITORING IPTV MULTISERVICE DATA TRANSMISSION NETWORK

Karjakin V.L., Karjakin D.V., Kosenko S.G.

**Perspective of merging traditional digital TV and IPTV broadcasting in multi-service data networks. Notes importance of monitoring the quality of transmission information in digital television systems and networks. Principles of IPTV broadcasting in data networks. Description of the model for monitoring IPTV, which is a tool for research and development of mechanisms for quality control of television broadcasting in computer data networks. Results of assessing quality of IPTV broadcast depending on the parameters of the transport network.**

**Keywords:** digital television broadcasting, technology IPTV broadcasting, multiservice networks, a model for monitoring IPTV, quality control of broadcasting.

Карякин Владимир Леонидович, д.т.н., профессор Кафедры «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-927-600-28-94. E-mail: [karyakin@psati.ru](mailto:karyakin@psati.ru)

Карякин Дмитрий Владимирович, к.т.н., начальник отдела Информационно-программного обеспечения (ИПО) ПГУТИ. Тел. 8-927-725-16-41. E-mail: [dm@psati.ru](mailto:dm@psati.ru)

Косенко Сергей Геннадьевич, инженер-программист отдела ИПО ПГУТИ. Тел. 8-917-118-41-11. E-mail: [ks@psati.ru](mailto:ks@psati.ru)

УДК 004.7:621.39

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПАКЕТОВ ПО СЕТИ С КОЛЬЦЕВОЙ ТОПОЛОГИЕЙ

Гавлиевский С.Л.

Кольцевая топология нашла широкое применение при построении сетей широкополосного доступа к услугам Internet. В статье приведены результаты расчетов характеристик сети, выявлены «узкие» места, рассмотрены варианты улучшения характеристик качества обслуживания

**Ключевые слова:** вероятностно-временные характеристики, маршрутная таблица, математическая модель, очереди, задержки, система нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ).

### Математическая модель

В [1-4] приведена СНАУ, описывающая потоки на ветвях сети в стационарном режиме при использовании одного класса обслуживания

$$\lambda = \lambda_0$$

$$\begin{cases} P^{(l)} = f_p(M, \pi), & \forall l \in \overline{[1, n_u]} \\ N^{(l)} = f_N(P^{(l)}), & \forall l \in \overline{[1, n_u]} \\ \lambda = f_\lambda(P^{(l)}, N^{(l)}, \Lambda, \pi), \forall l \in \overline{[1, n_u]} \\ \pi = f_\pi(\lambda), \end{cases}$$

где  $l$  – номер узла, которому адресован рассматриваемый пакет;  $n_u$  – общее число узлов сети;  $M = \{M_1, \dots, M_i, \dots, M_{n_u}\}$  – план распределения информации на сети;  $M_i = [m_{ij}^{(l)}]_{r_i \times (n_u - 1)}$  – маршрутная таблица  $i$  – узла;  $r_i$  – ранг узла  $i$ ;  $P^{(l)} = [p_{ij}^{(l)}]_{(n_u - 1) \times (n_u - 1)}$  – матрица переходных вероятностей, описывающая процесс передачи пакета по сети при поиске искомого узла  $l$ ;  $N^{(l)} = [n_{ki}^{(l)}]_{(n_u - 1) \times (n_u - 1)}$  – фундаментальная матрица;  $\Lambda = [\Lambda_{kl}]_{n_u \times n_u}$  – матрица интенсивностей поступления пакетов;  $\pi = [\pi_{ij}]_{n_u \times n_u}$  – матрица вероятностей блокировок ветвей сети;  $\lambda = [\lambda_{ij}]_{n_u \times n_u}$  – матрица суммарных интенсивностей поступивших потоков на ветви сети и адресованных всем узлам сети. Ее элементы рассчитываются по формуле:

$$\lambda_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^{n_u} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^{n_u} \Lambda_{kl} \cdot n_{kl}^{(l)} \cdot p_{ij}^{(l)}}{1 - \pi_{ij}},$$

где  $\lambda_0$  – начальные значения потоков на ветвях сети.

После определения потоков в стационарном режиме вероятности потерь пакетов рассчитываются по формуле  $B^{(l)} = N^{(l)} \cdot R^{(l)}$ . Они содержатся во втором вектор столбце матрицы  $B^{(l)}$ , где  $R^{(l)} = [r_{ij}^{(l)}]_{(n_u - 1) \times 2}$  – матрица вероятностей перехода из невозвратных состояний в поглощающие;  $B^{(l)} = [b_{ij}^{(l)}]_{(n_u - 1) \times 2}$  – матрица вероятностей достижения поглощающих состояний.

Задержки доставки пакетов будут равны:

$$t_k^{(l)} = \sum_{i=1}^{n_u} \tilde{n}_{ki}^{(l)} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_u} p_{ij}^{(l)} \cdot \tau_{ij}}{1 - p_{i0}^{(l)}},$$

где  $\tilde{t}^{(l)} = [t_k^{(l)}]_{n_u - 1}$  – вектор задержек доставки пакетов;  $\tau = [\tau_{ij}]_{n_u \times n_u}$  – матрица задержек в передаче пакетов по ветвям сети;  $\tilde{N}^{(l)} = [\tilde{n}_{ki}^{(l)}]_{(n_u - 1) \times (n_u - 1)}$  – модифицированная фундаментальная матрица.

Для анализа нам потребуется также расчет таких показателей, как очереди и уровни загрузки каналов сети. Обозначим через  $c_{ij}$  пропускную способность канала, соответствующего ветви  $(ij)$ , через  $o_{ij}$  и  $w_{ij}$  – очередь и число мест ожидания, через  $\mu$  – величину, обратную длине пакета. Ранее были обозначены через  $\tau_{ij}$  и  $\pi_{ij}$  – задержка при передаче пакета по ветви  $(ij)$  и вероятность ее блокировки, через  $\lambda_{ij}$  – поток, поступающий на ветвь  $(ij)$ .

Указанные величины связаны между собой следующим образом [5]:

$$\begin{aligned} \rho_{ij} &= f_\rho(\lambda_{ij}, c_{ij}, \mu); & o_{ij} &= f_o(\lambda_{ij}, c_{ij}, \mu); \\ \tau_{ij} &= f_\tau(\lambda_{ij}, c_{ij}, \mu); \\ \pi_{ij} &= f_\pi(\lambda_{ij}, c_{ij}, w_{ij}, \mu). \end{aligned}$$

Ниже рассмотрено применение модели на конкретных примерах, при подборе которых была учтена архитектура сети, ориентированная на оказание перспективных услуг связи. Ее характерной особенностью является наличие единой точки предоставления услуг. Это означает, что весь трафик должен проходить через единое устройство, которое обычно называют сервисным маршрутизатором, а сам характер тяготения при этом становится централизованным.

### Накопление задержек при передаче пакета по магистрали сети с кольцевой топологией

На рис. 1 приведен пример сети с кольцевой топологией, содержащей 8 узлов. Рассмотрим накопление задержек при передаче пакетов между центральным магистральным узлом (ЦМУ) и всеми остальными магистральными узлами (МУ) сети.

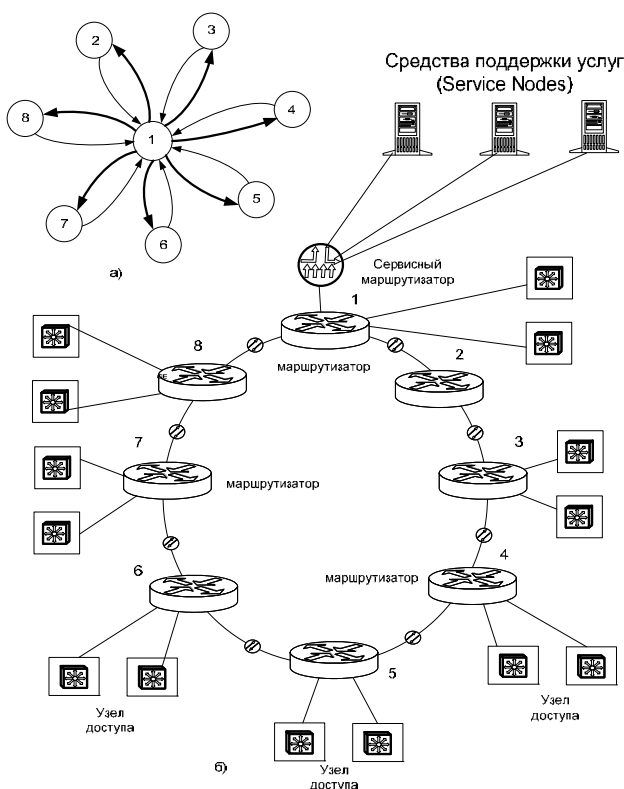


Рис. 1. Пример построения магистрали транспортной сети с кольцевой топологией: а) – структура тяготения; б) – топология сети

При расчете приняты следующие исходные данные:

- топология – кольцевая;
- число узлов – 8;
- характер тяготения – централизованный;
- число центров тяготения – 1, номер ЦМУ – 1;
- число классов обслуживания – 1;
- тип системы СМО, описывающей СБК, – М/М/1/Ν;
- длина пакета  $l_{pak} = 1,5 \cdot 10^4$  бит;
- число вариантов расчета – 2;
- вариант 1: пропускная способность каналов на каждом участке  $C = 10$  Мбит/С; интенсивности поступления пакетов между ЦМУ и каждым МУ принимают следующие значения  $\lambda = 5 \cdot 10^1$ ,  $\lambda = 10 \cdot 10^1$ ,  $\lambda = 15 \cdot 10^1$  пак/С;

- вариант 2: пропускная способность каналов на каждом участке  $C = 10$  Мбит/С; пропускная способность ветвей (1-2) и (1-8) удвоена; интенсивность поступления пакетов между ЦМУ и каждым МУ составляет  $\lambda = 15 \cdot 10^1$  пак/С;

- число буферов на каждое направление  $\omega = 10$ .

Результаты расчета:

- распределение потоков, уровней загрузки, очередей для 3 значений нагрузки. Накопление задержек при передаче пакета по магистрали сети для варианта 1 (см. рис. 2);

- распределение потоков, уровней загрузки, очередей. Накопление задержек при передаче пакета по магистрали транспортной сети для варианта 2 (см. рис. 3).

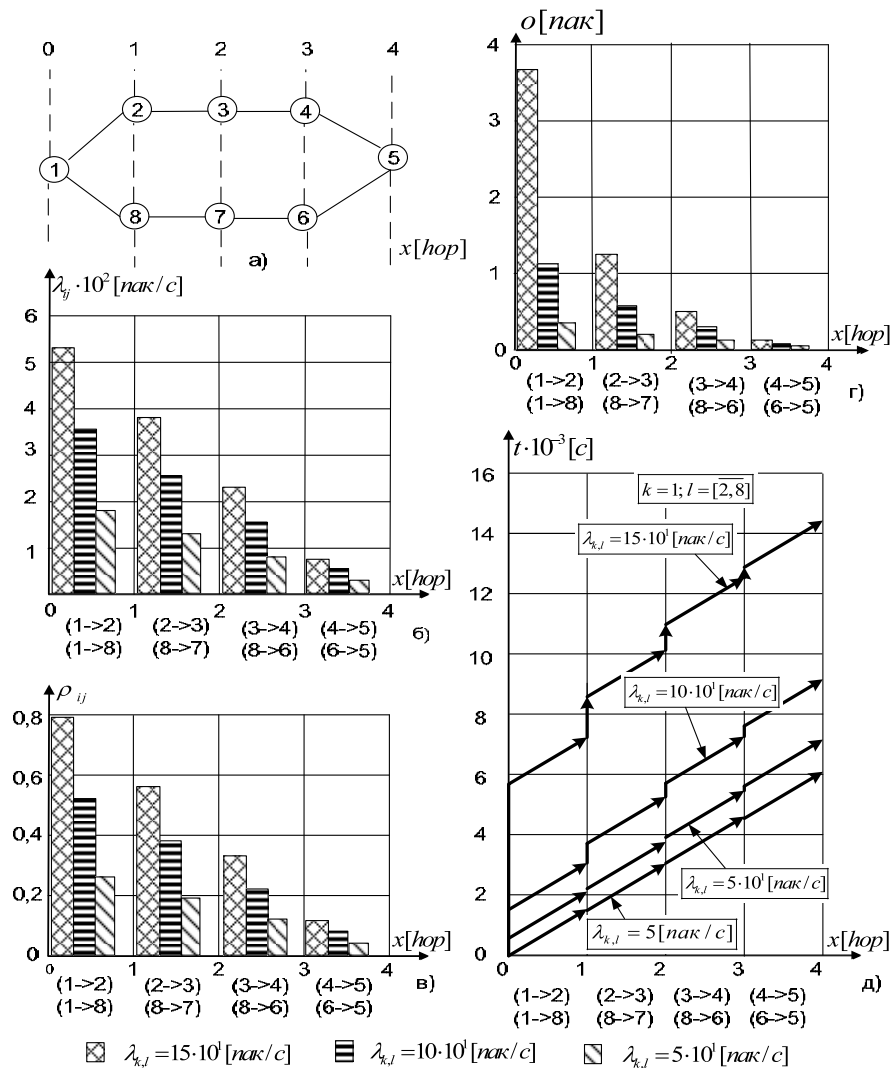


Рис.2. Накопление задержек при передаче пакета по магистрали транспортной сети при трех значениях нагрузки

На рис.2а показана топология сети, содержащей 8 узлов, а на рис. 2б-д, соответственно, величины потоков, поступающих на ветви сети, уровни загрузки каналов, очереди, а также график, иллюстрирующий процесс накопления задержек при передаче нисходящего потока между ЦМУ и всеми МУ. На осях абсцисс рис. 2 указано расстояние между ЦМУ и МУ в числе переприемов (хопах); отмечены также ветви, соединяющие соседние узлы. Так, например, узлы 2 и 8 удалены от узла 1 на расстояние 1 переприем. Узел 1 соединен с

узлом 2 при помощи ветви (1->2), а с узлом 8 – ветвью (1->8).

Для рассматриваемого примера интенсивности  $\Lambda_{kl}$  (для нисходящего потока) равны  $15 \cdot 10^1$ ;  $10 \cdot 10^1$  и  $5 \cdot 10^1$  пак/С, а интенсивности  $\Lambda_{lk}$  (для восходящего потока) приняты равными  $3 \cdot 10^1$ ;  $2 \cdot 10^1$  и  $1 \cdot 10^1$  пак/С. Эти интенсивности соответствуют режимам большой, средней и малой нагрузки. Для рассматриваемого случая  $k=1$ , а  $l \in [2,8]$ . Как следует из графиков, изображенных на рис. 2б-в, наибольшая нагрузка поступает на вет-

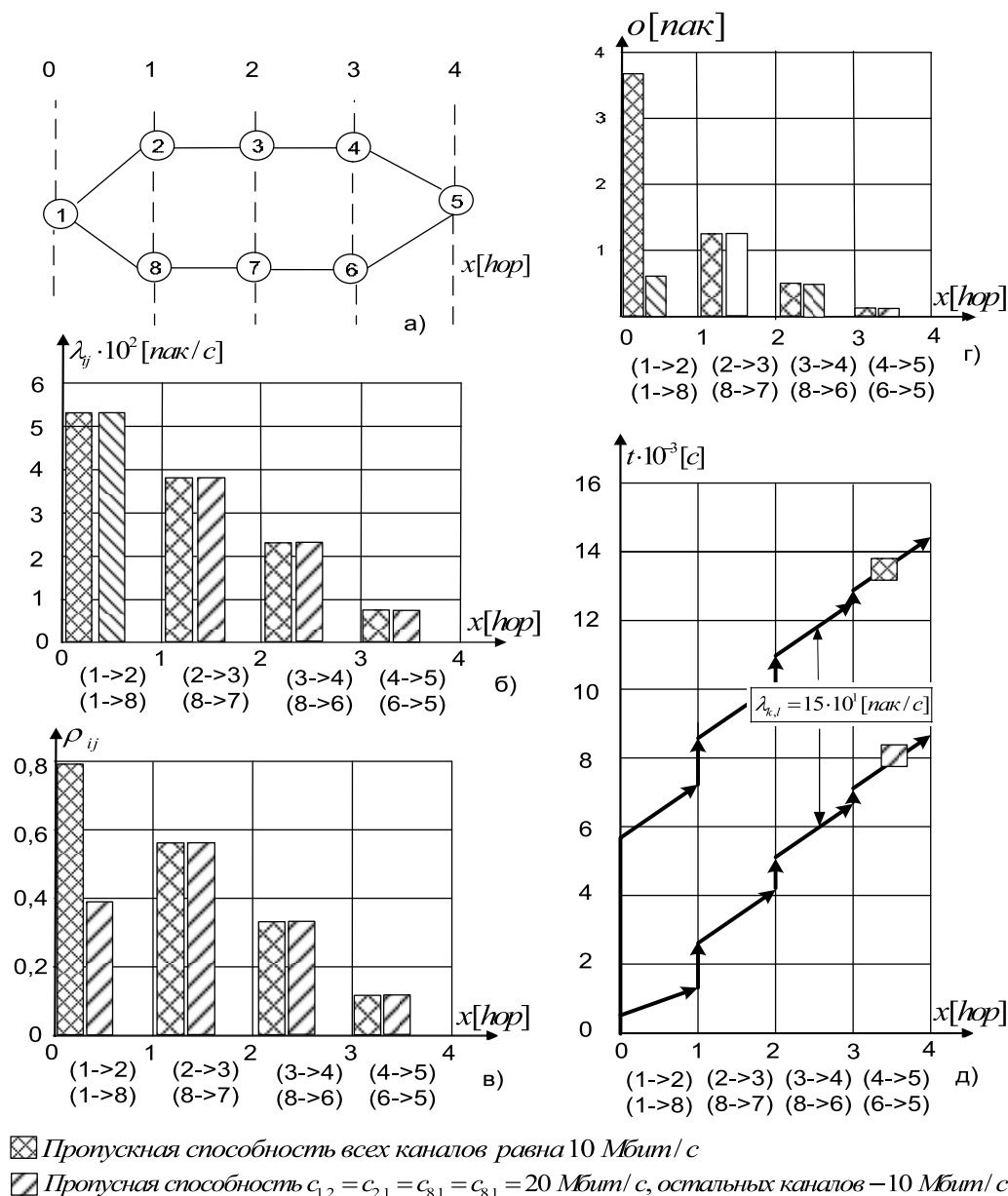


Рис. 3. Результаты исследования влияния увеличения пропускной способности канала на самом перегруженном участке сети

ви (1->-2) и (1->-8), а наименьшая – на ветви (4->-5) и (6->-5). Рис. 2д иллюстрирует накопление задержек при передаче пакета по ветвям сети, которая для каждой конкретной ветви складывается из двух составляющих: времени ожидания в очереди и времени передачи по каналу.

При этом (см. 2д) вторая составляющая является постоянной и равна частному от деления размера пакета на скорость передачи по каналу, а первая определяется уровнем загрузки канала. Наибольшие очереди пакетов скапливаются на направлениях (1->-2) и (1->-8), а наименьшие – на (4->-5) и (6->-5). Это понятно, поскольку именно эти ветви характеризуются наибольшей степенью нагрузки. По мере удаления от ЦМУ очереди «рассыпаются» и вклад удаленных от ЦМУ ветвей в общую задержку сокращается.

Выше было отмечено, что наибольшие очереди пакетов, а следовательно, и задержки имеют место на направлениях (1->-2) и (1->-8). Поэтому естественным предложением сокращения задержек является увеличение пропускной способности именно на этих участках. Такое увеличение может быть осуществлено путем организации дополнительного физического канала с последующим объединением его с уже существующим каналом в единый логический канал. Возможен также переход на предусмотренную стандартом новую скорость передачи.

Оценим эффект от увеличения скорости на участках (1->-2) и (1->-8) в 2 раза (см. рис. 3). Заметим, что поскольку канал является дуплексным, то удвоятся также и скорости передачи на участках (2->-1) и (8->-1). Удвоение скорости привело к тому, что уровень загрузки наиболее загруженных участков умень-

шился с 0,790 до 0,395, что привело к уменьшению очередей на этих направлениях с 3,76 до 0,649 пакетов. Столь существенное сокращение очереди уменьшило время передачи пакетов между ЦМУ 1 и МУ 2 с  $7,14 \cdot 10^{-2}$  С до  $1,12 \cdot 10^{-2}$  С, что, в свою очередь, привело к сокращению задержек между ЦМУ 1 и всеми другими узлами сети. Обратим внимание также на то, что после удвоения пропускной способности на участках (1->-2) и (1->-8) наиболее загруженными стали ветви (2->-3) и (8->-7). Уровень их загрузки составляет 0,553, а размер очереди – 1,24.

### Литература

1. Гавлиевский С.Л. Методы анализа мультисервисных сетей связи с несколькими классами обслуживания. М.: ИРИАС, 2010. – 353 с.
2. Гавлиевский С.Л. Математическая модель для анализа сетей с пакетной коммутацией: Вестник СГТУ. Серия Технические науки. Самара, №8, 2000. – С. 63-77.
3. Гавлиевский С.Л. Итерационный метод расчета характеристик сетей с коммутацией сообщений // Сетеметрия, анализ и моделирование информационно-вычислительных сетей. Межвузовский сборник научных трудов. Куйбышев, 1988. – С. 21-27.
4. Гавлиевский С.Л. Модели для расчета характеристик сетей с коммутацией пакетов. Автоматизация научных исследований. Межвузовский сборник научных трудов. Куйбышев, 1989. – С. 58-63.
5. Петров М.Н. Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации. Красноярск: Изд. КГТУ, 1997. – 220 с.

## SOME FEATURES OF ACCUMULATION OF DELAYS BY TRANSFER OF SOFTWARE PACKAGES OF THE NETWORK WITH RING TOPOLOGY

Gavlievskiy S.L.

**The Ring topology has found wide application at construction of networks of broadband access to services the Internet. In clause(article) results of calculations of characteristics of a network are given, «narrow» places are revealed, variants of improvement of characteristics of quality of service are considered.**

**Keywords:** *probability-time characteristics, the routing table, mathematical model, turns, delays, system of the nonlinear algebraic equations.*

Гавлиевский Серго Леонидович, к.т.н., начальник отдела сетевой интеграции ОАО «Гипросвязь» (г. Самара). Тел. (8-846) 270-89-45. E-mail: gsl@gs7.ru