

УДК 621.39

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАЛОВ СВЯЗИ В СЕТЯХ БУДУЩЕГО С НЕОДНОРОДНЫМ ТРАФИКОМ

*д-р техн. наук, проф. В.Б. ТОЛУБКО, д-р техн. наук, проф. Л.Н. БЕРКМАН,  
д-р техн. наук, проф. Л.П. КРЮЧКОВА, канд. техн. наук, доц. О.Н. ТКАЧЕНКО  
(Государственный университет телекоммуникаций, Киев)*

*Проанализированы требования, которые предъявляются к пакетам различных типов. Определены временные задержки пакетов для восьми вариантов значений интенсивностей и длин пакетов при использовании каналов связи с различными пропускными способностями. Получено выражение для определения пропускной способности канала связи в зависимости от размера пакетов всех типов и доли речевых пакетов в общей нагрузке ( $k$ ). Предлагается оценивать необходимую пропускную способность для всего диапазона изменения доли речевых пакетов  $k$ . Рассмотрены предельные случаи, когда  $k \rightarrow 0$  и  $k \rightarrow 1$ . Получены выражения для нижней и верхней границы пропускной способности канала связи и оценка эффекта использования пропускной способности канала. Проведены расчеты пропускной способности канала связи при различных значениях параметров нагрузки и ограничений на задержку пакетов.*

**Ключевые слова:** пакет, трафик, сеть, конвергентность, мультисервисность, неоднородный, время, задержка, пропускная способность.

**Введение.** Эффективность функционирования телекоммуникационной сети в значительной степени определяется временными задержками при передаче данных между пользователями сети. Минимизация задержек в сетях с однородным трафиком обеспечивается на этапе проектирования с использованием математических моделей массового обслуживания с однородным потоком заявок [1]. В настоящее время все большее распространение получают конвергентные мультисервисные сети, характерной чертой которых является неоднородность трафика [2, 3].

Неоднородность трафика заключается в передаче по конвергентной сети пакетов нескольких типов (видео, аудио, речевых, текстовых пакетов и т.д.), к которым предъявляются различные требования [3]. Эти требования формулируются в виде ограничений на время доставки пакетов различных типов. В основном, это средние ограничения  $\tau_i^*$ , которые влияют на среднее время  $\bar{\tau}_i$  задержки пакетов в конвергентной сети при условии

$$\bar{\tau}_i < \tau_i^* \quad (i = \overline{1, n}),$$

где  $n$  – количество типов пакетов в сети.

Исследование и анализ среднего времени задержки пакетов предлагается выполнять с использованием математических моделей массового обслуживания с неоднородным потоком заявок, что позволит оценить эффект влияния пропускной способности канала связи на показатели качества при передаче пакетов различных типов. При этом актуальной становится задача выбора параметров пакетов, критичных к задержкам в конвергентной сети [4].

Решение этой задачи позволит выполнить анализ свойств систем передачи данных и сформулировать рекомендации для проектирования конвергентных сетей, в частности, оценить задержку и необходимую пропускную способность каналов связи.

**Основная часть.** Для оценки эффективности передачи трафика в конвергентной сети как базовую модель канала связи целесообразно использовать систему массового обслуживания с неоднородным потоком пакетов  $n$  типов, поступающих в канал связи с интенсивностями  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ .

Обозначим:

$V$  – пропускная способность канала связи;

$L_i$  – средняя длина пакета  $i$ -го типа.

Для случая когда пакеты одного класса имеют одинаковую длину, а потоки пакетов являются самими простыми, средняя задержка пакета  $i$ -го типа при использовании метода управления трафиком на основе относительных приоритетов определяется выражением (1):

$$\tau_i = \left( \frac{\left( \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot L_j^2 \right)}{\left( V - \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j \cdot L_j \right) \cdot \left( V - \sum_{j=1}^i \lambda_j \cdot L_j \right)} \right) + \frac{L_i}{V}, \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

В таблице 1 представлены результаты расчета временных задержек пакетов для восьми вариантов значений интенсивностей и длин пакетов при использовании каналов связи с различными пропускными способностями.

Таблица 1 – Результаты расчета временных задержек пакетов

$\lambda_i, \text{с}^{-1}$	$L_i, \text{бит}$	$V_k, \text{кбит/с}$	
		128	192
$\tau_i, \text{с}$			
2	$1.2 \cdot 10^4$	0.16	0.087
5	$8 \cdot 10^3$	0.129	0.067
10	$4 \cdot 10^3$	0.099	0.047
20	800	0.074	0.03
2	800	0.26	0.11
5	$4 \cdot 10^3$	0.285	0.126
10	$8 \cdot 10^3$	0.315	0.146
20	$1.2 \cdot 10^4$	0.346	0.167

Анализ результатов, представленных в таблице 1, и графических данных, представленных на рисунке 1 позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Для обеспечения минимальной задержки передачи пакетов при пропускной способности канала 128 кбит/с целесообразно использовать длинные пакеты с малой интенсивностью или короткие пакеты, но с большей интенсивностью.

2. При поступлении пакетов большей интенсивности и длины создаются практически недопустимые задержки, превышающие установленное для речевых пакетов ограничение в 150 мс при пропускной способности канала 128 кбит/с.

3. При увеличении пропускной способности канала связи в 1,5 раза (с 128 до 192 кбит/с) задержки для пакетов всех типов и вариантов уменьшаются более чем в два раза и не превышают установленные для речевых пакетов ограничения – 150 мс.

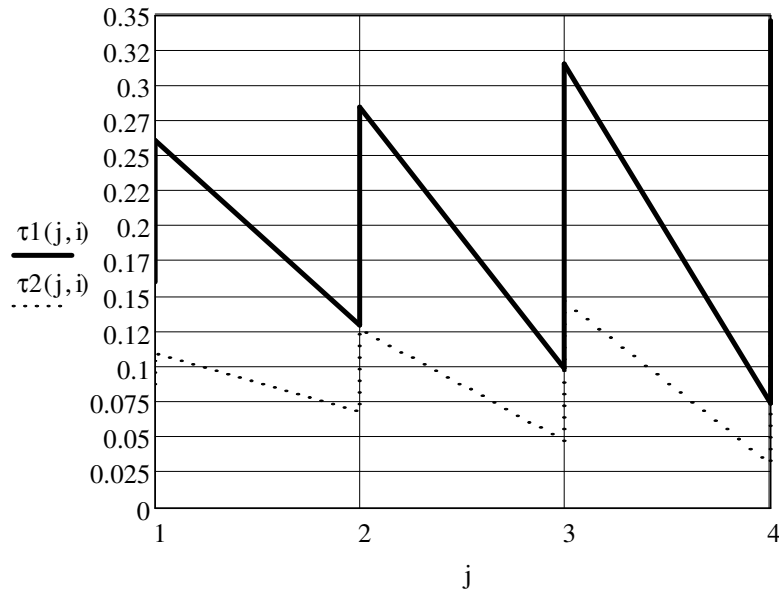
Одной из важных задач на этапе проектирования конвергентных сетей является определение требований к пропускной способности каналов связи. Очевидно, что эти требования существенно зависят от нагрузки, создаваемой пакетами данных, и ограничений, накладываемых на величину задержки пакетов, к которым относятся, например, речевые.

Рассмотрим случай, когда ограничения заданы на среднее время задержки речевых пакетов в виде

$$\overline{\tau}_i < \tau_i^*.$$

Положим, что размеры пакетов всех типов одинаковые ( $L_i = L = 64$  байт для всех), а доля речевых пакетов в общей нагрузке составляет  $k$  ( $0 \leq k \leq 1$ ), то есть

$$\lambda_1 = k \cdot \Lambda.$$



**Рисунок 1.** – Зависимость временных задержек пакетов от изменения интенсивностей и длин пакетов при использовании каналов связи с различными пропускными способностями (τ<sub>1</sub> при V<sub>k</sub> = 128 кбит/с, τ<sub>2</sub> при V<sub>k</sub> = 192 кбит/с)

Тогда, решая неравенство  $\bar{\tau}_i < \tau_i^*$  с учетом (1), получим, что пропускная способность канала связи должна выбираться из условия

$$V > \frac{L}{2} \left( \frac{1}{\tau_1^*} + k \cdot \Lambda + \left( \left( k \cdot \Lambda - \frac{1}{\tau_1^*} \right)^2 + \frac{4 \cdot \Lambda}{\tau_1^*} \right)^{\frac{1}{2}} \right). \quad (2)$$

Выражение в правой части неравенства (2) представляет собой нижнюю границу пропускной способности V<sub>k</sub> канала связи, которую необходимо иметь для передачи k речевых пакетов с заданным высоким показателем качества. В процессе проектирования конвергентных сетей обычно достаточно сложно задать k речевых пакетов в общей нагрузке. В то же время эта доля в течение суток может изменяться в значительных пределах. В связи с этим предлагается оценивать необходимую пропускную способность для всего диапазона изменения k. Для этого рассмотрим предельные случаи, когда k → 0 и k → 1.

Тогда из условия (2) получим нижнюю (3) и верхнюю (4) границы пропускной способности канала связи и эффект использования пропускной способности канала (5):

$$V_{\min} = \frac{L}{2} \left( \frac{1}{\tau_1^*} + \left( \frac{1}{\tau_1^{2*}} + \frac{4 \cdot \Lambda}{\tau_1^*} \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (3)$$

$$V_{\max} = L \left( \frac{1}{\tau_1^*} + \Lambda \right), \quad (4)$$

$$\Delta = (V_{\max} - V_k) / V_k \quad (5)$$

В таблице 2 представлены результаты расчета пропускной способности канала связи при различных значениях параметров нагрузки и ограничений на задержку пакетов. Для качественной передачи речевого трафика допустимая задержка составляет 150 мс.

Таблица 2 – Результаты расчета пропускной способности канала связи

Задержка ограничения, $\tau_1^*$ , мс	Интенсивность, $c^{-1}$	Доля речевых пакетов, $k$	Пропускная способность, кбит/с			Эффект, %
			$V_k$	$V_{kmin}$	$V_{kmax}$	$\delta$
150	10	0.09	$6.371 \cdot 10^3$	$5.939 \cdot 10^3$	$8.533 \cdot 10^3$	33.95
	20	0.29	$9.108 \cdot 10^3$	$7.656 \cdot 10^3$	$1.365 \cdot 10^4$	49.91
	30	0.49	$1.3 \cdot 10^4$	$8.978 \cdot 10^3$	$1.877 \cdot 10^4$	44.443
	40	0.69	$1.87 \cdot 10^4$	$1.009 \cdot 10^4$	$2.389 \cdot 10^4$	27.75
	50	0.89	$2.656 \cdot 10^4$	$1.108 \cdot 10^4$	$2.901 \cdot 10^4$	9.24
300	10	0.09	$4.105 \cdot 10^3$	$3.846 \cdot 10^3$	$6.827 \cdot 10^3$	66.314
	20	0.29	$6.566 \cdot 10^3$	$5.06 \cdot 10^3$	$1.195 \cdot 10^4$	81.947
	30	0.49	$1.051 \cdot 10^4$	$5.995 \cdot 10^3$	$1.707 \cdot 10^4$	62.452
	40	0.69	$1.649 \cdot 10^4$	$6.784 \cdot 10^3$	$2.219 \cdot 10^4$	34.507
	50	0.89	$2.469 \cdot 10^4$	$7.48 \cdot 10^3$	$2.731 \cdot 10^4$	10.619

Анализ полученных результатов показывает, что снижение требований к пропускной способности каналов связи позволяет:

- уменьшить допустимую задержку в несколько раз при минимальном увеличении пропускной способности канала;
- при увеличении нагрузки (интенсивности  $\Lambda$ ) и оптимальном выборе типа пакета увеличивается эффект использования пропускной способности каналов связи;
- с уменьшением доли  $k$  речевых пакетов в общей нагрузке эффект использования пропускной способности каналов связи увеличивается.

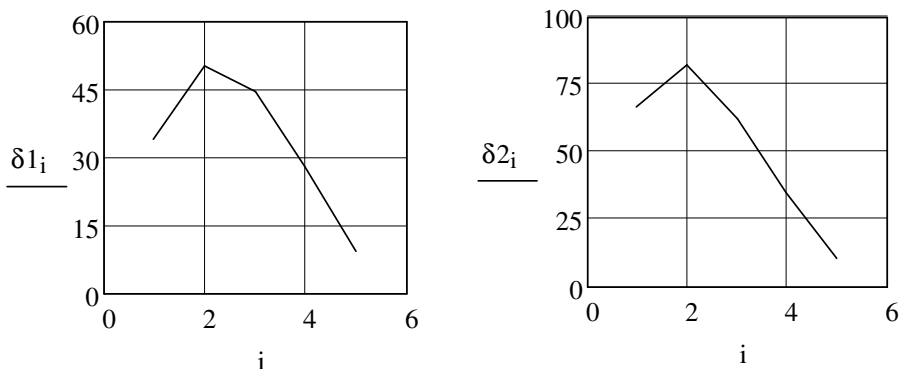


Рисунок 2. – Зависимость эффекта (%) использования пропускной способности каналов связи от коэффициента ( $k$ ) при ограничениях на задержку пакетов 150 мс ( $\delta 1$ ) и 300 мс ( $\delta 2$ ).

**Заключение.** Предлагаемая модель исследования каналов связи мультисервисной сети позволяет определить пропускную способность канала и оценить эффект, который достигается за счет оптимального выбора интенсивности и типа пакета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Толубко, В.Б. Методи оптимізації / В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман. – Київ : ДУТ, 2016. – 442 с.
2. Сети следующего поколения / А.В. Росляков [и др.]. – М. : Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
3. Стеклов, В.К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Є.В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2004. – 482 с.
4. Стеклов, В.К. Телекоммуникационные сети / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – Київ : Киевский институт связи Украинской государственной академии связи им. А.С. Попова, 2000. – 395 с.
5. Характеристики нагрузки интеллектуальной сети / А.Е. Кучерявый [и др.] // Электросвязь. – 2000. – № 11. – С. 7–9.
6. Интеллектуальные сети связи. / Б.Я. Лихтциндер [и др.]. – М. : Эко-Трендз, 2000. – 205 с.
7. Морозов, В.К. Основы теории информационных сетей / В.К. Морозов, А.В. Долганов. – М. : Высшая школа, 1987. – 271 с.
8. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М. : Мир, 1979. – 282 с.

Поступила 26.03.2018

**RESEARCH METHODOLOGY COMMUNICATION CHANNELS  
IN FUTURE NETWORKS WITH HETEROGENEOUS TRAFFIC**

**V.B. TOLUBKO, L.N. BERKMAN, L.P. KRYUCHKOVA, O.N. TKACHENKO**

*The requirements for various types of packages are analyzed. The time delays of packets for eight variants of values of intensities and lengths of packets are determined at use of communication channels with various throughputs. An expression is obtained for determining the capacity of the communication channel, depending on the size of all packets and the proportion of voice packets in the total load ( $k$ ). It is proposed to estimate the necessary throughput for the entire range of the change in the share of speech packets  $k$ . Limit cases are considered when  $k \rightarrow 0$  and  $k \rightarrow 1$ . Expressions were obtained for the lower and upper bounds of the capacity of the communication channel and the effect of using the channel capacity. Calculations of the capacity of the communication channel for various values of load parameters and restrictions on the delay of packets.*

**Keywords:** packet, traffic, network, convergence, multi-service, heterogeneous, time, delay, bandwidth.