

## Заключение

При реализации данного алгоритма точность аппроксимации зависит от количества выбранных на начальном этапе отчетов  $N$  функции  $f(x)$  которую необходимо интерполировать. В статье рассмотрены частные случаи для наиболее известных распределений с «тяжелым» хвостом, так как на практике и в многочисленных публикациях доказано, что реальный трафик сети по своим свойствам приближен к ним.

Таким образом, аппроксимация суммой затухающих экспонент может описать функцию ПРВ. Анализ и расчет характеристик мультисервисного трафика, поступающего на вход и обслуживаемого в звене системы, является актуальной задачей. Данный алгоритм может также подходить для исследования частных случаев аппроксимации ПРВ, по законам которых циркулируют пакеты трафика в системе СМО типа G/G/1, при условии вещественного значения  $z_1$ . При исследовании функции ПРВ [4] необходимо учитывать

свойства самоподобия трафика [5] и произвольный процесс обслуживания.

## Литература

1. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. – 584 с.
2. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. СПб.: Питер, 2004. – 848 с.
3. Бердышев В.И., Петрак Л.В. Аппроксимация функции, сжатие численной информации, приложения. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 1999. – 295 с.
4. Чупахина Л.Р., Киреева Н.В. Построение функций распределения реального трафика с помощью кумулянтного анализа // ИКТ. Т.10, №1. 2013. – С. 33-36.
5. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.

## APPROXIMATION OF FUNCTIONS OF DENSITY OF DISTRIBUTIONS WITH HEAVY TAILS THE PRONY METHOD

Kireeva N.V., Chupakhina L.R.,

**At present the actual problem in the study of traffic multiservice network is the presence of self-similarity, which influences the characteristics of the node processing packages. In the article the questions of the decomposition of arbitrary functions in series of exponents and approximation of an arbitrary density of distribution of the Prony method.**

*Keywords: self-similar process, the density distribution function, approximation of probability density, the Prony method.*

Киреева Наталья Валерьевна, к.т.н., доцент Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности (МСИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 339-11-67. E-mail: zepelinSN@yandex.ru

Чупахина Лилия Равилевна, аспирант Кафедры МСИБ ПГУТИ. Тел. 8-927-710-67-17. E-mail: garip4ik555@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.372.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Баскаков В.С., Косова А.Л., Прокопьев В.И.

Показаны перспективы развития волоконно-оптических систем передачи (ВОСП), которые обуславливают возрастание роли метрологического обеспечения измерений параметров волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) в процессе эксплуатации, повышение точности и надежности полученных результатов. Рассмотрены области применения метода

обратного рассеяния и доказана необходимость учета влияния уровня шумов рефлектограммы на погрешность измерения затухания оптической линии и ее отдельных фрагментов. Исследованы погрешности измерения коэффициента затухания и затухания соединений оптических волокон (ОВ) в зависимости от отношения сигнал/помеха (SNR) и протяженности

«квазирегулярных» участков. Приведены результаты экспериментальных исследований, позволяющих корректно выявить деградацию характеристик волоконно-оптических линий на ранних стадиях и сформулировать требования к условиям проведения измерений параметров ВОЛП методом обратного рассеяния.

**Ключевые слова:** волоконно-оптические системы передачи; оптический рефлектометр; линейная аппроксимация; погрешность измерения; экспериментальные исследования; анализ результатов.

Основной тенденцией развития современных систем телекоммуникаций является применение волоконно-оптических систем передачи (ВОСП), представляющих собой совокупность активных и пассивных устройств, предназначенных для передачи информации на расстояние по волоконно-оптическим линиям передачи (ВОЛП). ВОЛП – это вид направляющей системы, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам (ОВ) [1-2]. Убедительные успехи, которые демонстрируют в этой области страны Западной Европы, Северная Америка и Япония, доказывают безусловную перспективность разработок в этом направлении. В России введены в эксплуатацию такие международные ВОСП, как «Россия – Дания», «Россия – Турция – Италия», «Россия – Япония – Южная Корея» и т.д., осуществляется планомерная цифровизация сетей связи на базе ВОЛП как на региональных уровнях, так и в масштабах страны. В свете происходящих перемен неуклонно повышается роль и значение работ в сфере метрологического обеспечения измерения параметров ВОЛП, повышения точности и надежности полученных результатов.

Наиболее универсальным и разработанным методом контроля параметров ВОЛП, рекомендованным МСЭ-Т, ГОСТ РФ, в настоящее время является метод обратного рассеяния [3-4]. Он находит применение при определении регулярности и коэффициента затухания ОВ, измерения затухания смонтированной волоконно-оптической линии, отдельных ее участков, затухания сварных и механических соединений ОВ, расстояний до неоднородностей оптической линии, длины оптического кабеля (ОК) и т.д. Все параметры ВОЛП определяются по рефлектограмме, представляющей собой зависимость уровня потока обратного рассеяния от расстояния.

Основными параметрами ВОЛП, измеряемыми в процессе строительства и эксплуатации, являются: затухание соединений ОВ, отдельных участков и целиком смонтированной оптической линии, коэффициент затухания на регулярных участках. В процессе обработки рефлектограмм выполняются

процедуры линейной аппроксимации регулярных участков, по результатам которых вычисляются указанные характеристики ВОЛП. Квазирегулярные участки рефлектограмм заменяются гипотетическими линейными зависимостями вида:

$$y = a + bx, \quad (1)$$

что для случая анализа потока обратного рассеяния преобразуется как

$$a(x) = c - \alpha x, \quad (2)$$

где  $a(x)$  – уровень потока обратного рассеяния в анализируемой точке, дБ;  $c$  – постоянная, определяющая уровень потока обратного рассеяния в начале аппроксимируемого участка, дБ;  $\alpha$  – коэффициент затухания, дБ/км;  $x$  – расстояние до анализируемой точки, км.

Затухание  $a_{1,2}$  между двумя произвольно выбранными точками оптической линии определяется как разность уровней  $a(x)$  в начале  $a(x_1)$  и конце  $a(x_2)$  измеряемого участка. При этом

$$a_{1,2} = \alpha(x_2 - x_1), \quad (3)$$

где  $x_1$  – расстояние до начала измеряемого участка, км;  $x_2$  – расстояние до конца измеряемого участка, км;  $\alpha$  – коэффициент затухания – параметр  $b$  аппроксимирующей прямой (1), дБ/км. При определении параметров аппроксимирующих прямых используются методы:

- двух точек – в случае измерения затухания на смонтированном участке;
- метод наименьших квадратов – в случае измерения затухания и коэффициента затухания на «квазирегулярном» участке.

В первом случае параметры аппроксимирующих прямых определяются из соотношений

$$a = y_1; \quad b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (4)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – уровни обратнорассеянного потока, соответствующие началу и концу аппроксимируемого участка, дБ;  $x_1$  и  $x_2$  – по-прежнему расстояния до начала и конца указанного участка, км.

Во втором случае те же параметры определяются соотношениями [4]

$$a = \frac{\bar{y} \sum_{i=1}^n (x_i) - \bar{x} \sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n(\bar{x})^2}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - n(\bar{x})^2}; \quad (5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i,$$

где  $y_i$  и  $x_i$  – координаты границ интервалов разбиения аппроксимируемого участка, дБ и км соответственно;  $(n - 1)$  – число участков разбиения.

Таким образом, при определении параметров аппроксимирующих прямых в обоих случаях необходимо знание координат  $y_i$  и  $x_i$  рефлектограмм в заданных точках. Погрешность измерения расстояния  $x_i$  в основном определяется неточностью задания показателя преломления сердцевины ОВ. Этот параметр ОВ устанавливается оператором в процессе выбора режима работы оптического рефлектометра с погрешностью не хуже 0,001%, которой в дальнейшем можно пренебречь. Остановимся подробнее на погрешности измерения уровней  $y_i$  обратнорассеянного потока.

Особенностью метода обратного рассеяния является то, что параметры затухания рассчитываются по результатам линейной аппроксимации участков рефлектограммы, на которой в любой точке присутствует некоторый уровень шума [3]. Следовательно, в соотношениях (4) и (5) уровни  $y_i$  измеряются с погрешностью, которая приводит к погрешности определения параметров аппроксимирующих прямых и, как следствие, к погрешности вычисления характеристик оптической линии (3).

На рис. 1 представлены рефлектограммы фрагмента оптической линии, полученные при различных значениях отношения «сигнал /помеха» (SNR).

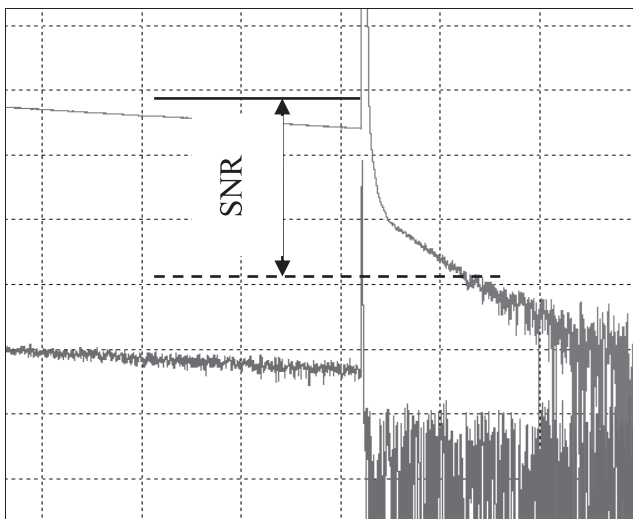


Рис. 1. Типичные рефлектограммы фрагмента оптической линии при различных SNR

Определим абсолютную погрешность  $\Delta_{ш}$ ; дБ, измерения уровня потока обратного рассеяния в произвольной точке рефлектограммы с учетом наличия шума

$$\Delta_{ш} = [a_c + a_{ш}] - a_c,$$

где  $a_c$  – абсолютный уровень сигнала; дБ, в заданной точке рефлектограммы при отсутствии шума

$$a_c = 10 \lg(P_c / P_0), \quad a_c + a_{ш} = 10 \lg \frac{P_c + P_{ш}}{P_0}$$

$P_c$  – мощность потока обратного рассеяния в анализируемой точке, Вт;  $P_0 = 10^{-3}$ , Вт – абсолютный нулевой уровень мощности сигнала в анализируемой точке на зашумленной рефлектограмме, дБ;  $P_{ш}$  – мощность шума, Вт. Тогда

$$\Delta_{ш} = 10 \lg \frac{P_c + P_{ш}}{P_0} - 10 \lg \frac{P_c}{P_0} = 10 \lg [1 + \frac{P_{ш}}{P_c}].$$

С учетом того, что

$$SNR = 5 \lg \frac{P_c}{P_{ш}} = -5 \lg \frac{P_{ш}}{P_c},$$

можно записать

$$\frac{P_{ш}}{P_c} = 10^{-SNR/5}.$$

Окончательно будем иметь

$$\Delta_{ш} = 10 \lg [1 + 10^{-SNR/5}], \text{ дБ.} \quad (6)$$

График зависимости  $\Delta_{ш}$ ; дБ, от SNR представлен на рис. 2. Он позволяет оценить погрешность измерения уровня сигнала  $y_i$  от воздействия помехи. Величина  $\Delta_{ш}$  может принимать значения от 0,01 дБ при  $SNR \geq 12$  дБ до 1,5 при  $SNR \leq 2$  дБ [5-6]. Очевидно, что данная погрешность приводит к погрешности определения параметров аппроксимирующих прямых (4)-(5) и, следовательно, к погрешностям измерения характеристик ВОЛП.

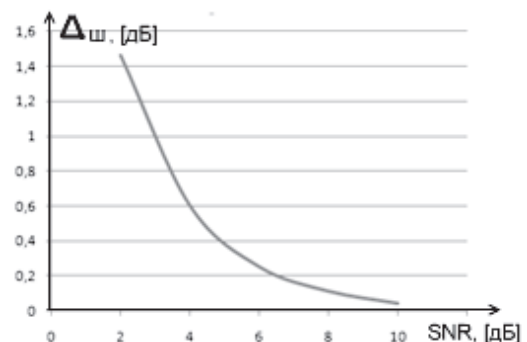


Рис. 2. Зависимость абсолютной погрешности определения уровня обратного рассеяния от отношения «сигнал/помеха»

Рекомендации [4] по корректному выбору величины SNR справедливы на этапе идентификации рефлектограмм, но не позволяют оценить погрешности измерений и дать ответы на следующие вопросы:

- какова погрешность измерения затухания локальной неоднородности при выполнении указанных требований и произвольных значениях SNR;

- какова погрешность измерения интегральных характеристик оптической линии (например коэффициент затухания) при различных SNR;

- каким образом влияет протяженность «квазирегулярных» участков на погрешность измерения параметров ОВ.

При измерении затухания ВОЛП и ее фрагментов согласно (3) необходимо определять коэффициенты затухания соответствующих участков. При измерении потерь на соединениях ОВ также возникает необходимость в определении коэффициентов затухания прилегающих участков [4].

На рис. 3 представлен фрагмент «зашумленной» рефлектограммы оптической линии, содержащий сварное соединение ОВ и результаты линейной аппроксимации прилегающих «квазирегулярных» участков с использованием четырехточечной схемы расстановки маркеров.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: 1 – аппроксимирующие прямые при  $SNR \geq 15$  дБ; 2 – аппроксимирующие прямые при  $SNR \leq 4$  дБ;  $\Delta_n - \Delta a_1 + \Delta a_2$  – погрешность измерения потерь, возникающая вследствие воздействия шума.

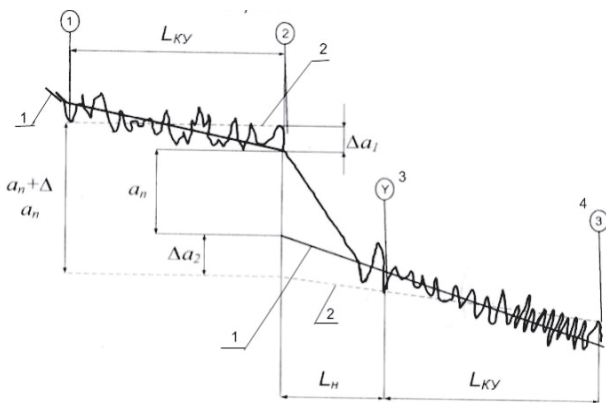


Рис. 3. Принцип определения потерь на сварном соединении ОВ

Измерение затухания ВОЛП в процессе эксплуатации осуществляется с целью контроля соответствия параметров ОВ действующим нормам [5]. При этом определяется разность текущего значения параметра  $a(t)$  и соответствующего  $a_n$  по нормам:  $\Delta = [a(t) - a_n]$ . Указанный подход справедлив как

при оценке затухания отдельных участков ВОЛП, коэффициента затухания, так и затухания соединений ОВ. Затем задается минимальная величина отклонения  $\Delta_{min}$ , при которой делается вывод о деградации измеряемого параметра. Как правило, принимается  $\Delta_{min} = 0,5a_n$ . Для принятия корректного решения о несоответствии характеристик оптической линии нормам на ранних стадиях их деградации необходимо выполнение условия [6-7]:

$$\Delta a(t) = 0,5\Delta_{min}, \tag{7}$$

где  $\Delta a(t)$  – погрешность измерения текущего значения параметра оптической линии.

Изложенное свидетельствует о необходимости исследования влияния шумов рефлектограмм (SNR) и протяженности «квазирегулярных» участков на погрешности измерения затуханий волоконно-оптических линий.

Экспериментальные исследования указанных погрешностей производились в соответствии с структурной схемой на рис. 4

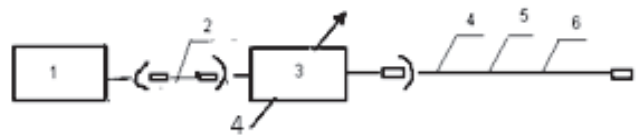


Рис. 4. Структурная схема измерения параметров ВОЛП

На схеме рис. 4 приняты следующие обозначения: 1 – оптический рефлектометр HP E6000A; 2 – патчкорд; 3 – регулируемый оптический аттенуатор EXFO FVA-600; 4 – катушка со стандартным одномодовым волокном SMF-28e™ фирмы «Corning» длиной 20 км; 5 – сварочное соединение двух одномодовых волокон; 6 – катушка со стандартным одномодовым волокном SMF-28e™ фирмы «Corning» длиной 4 км. Параметры измерений: длина волны оптической несущей 1550 нм; длительность зондирующего импульса 100 нс; диапазон расстояний (дальность) 40 км; время усреднения 30 с.

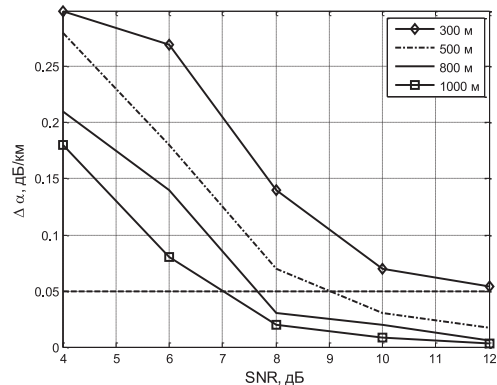


Рис. 5. Зависимости абсолютной погрешности измерения коэффициента затухания от условий измерений

По схеме рис. 4 проводились многократные измерения коэффициента затухания  $\alpha$  [дБ/км] и затухания сварных соединений  $\alpha$  [дБ] при различных значениях SNR и протяженности «квазирегулярных» участков  $L_{ку}$ . Оценка «сверху» погрешности  $\Delta\alpha$  однократного измерения коэффициента затухания определялась в соответствии с соотношением:

$$\Delta\alpha = \left| \bar{\alpha} - \alpha_j \right|_{\max}, \text{ дБ/км}; \quad (8)$$

где:  $\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$  – математическое ожидание результатов многократных измерений коэффициента затухания при  $\text{SNR} \geq 12$  дБ и  $L_{ку} \geq 1500$  м, дБ/км;  $n = 10$  – объем выборки;  $\alpha_i$  – результат  $i$ -го измерения, дБ;  $\alpha_j$  – результат измерения при заданных значениях SNR и  $L_{ку}$ , которому соответствует максимальное отклонение от  $\bar{\alpha}_{ст}$ ; дБ. На рис. 5 представлены зависимости  $\Delta\alpha$  от SNR, полученные при различных значениях  $L_{ку}$ . На рис. 6 представлены зависимости  $\Delta\alpha$  от SNR, полученные при различных значениях  $L_{ку}$ .

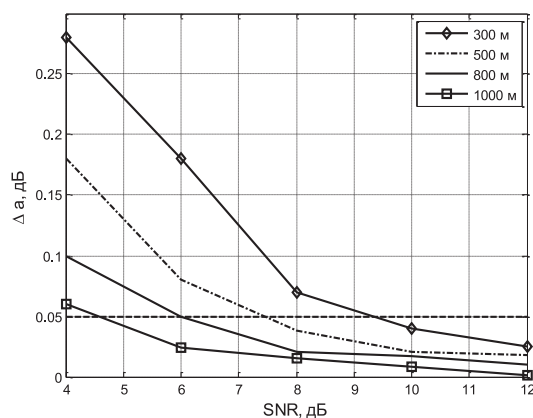


Рис. 6. Зависимости абсолютной погрешности измерения затухания соединения ОВ от условий измерений

Пунктиром на рис. 5-6 показан принцип определения условий проведения измерений, позволяющих обеспечить уровень погрешностей  $\Delta\alpha$  и  $\Delta a$ , отвечающих требованиям (7). Результаты экспериментальных исследований позволяют

объективно оценить погрешность измерений затухания ВОЛП, выполненных в различных условиях. Это дает возможность корректно выявить деградацию характеристик оптической линии на ранних стадиях и обоснованно сформулировать требования к режиму работы оптического рефлектометра, обеспечивающему заданный уровень погрешностей измерения.

## Литература

1. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация. Под ред. В.А. Андреева. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 424 с.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.: Сайрус Системс, 1999. – 672 с.
3. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРпт, 2005. – 208 с.
4. Андреев В.А., Бурдин В.А., Баскаков В.С., Косова А.Л. Измерения на ВОЛП методом обратного рассеяния. Самара: Изд. СРТТЦ ПГУТИ, 2011. – 107 с.
5. Нормы приемно-сдаточных элементарных кабельных участков магистральных и внутризональных подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования. Утверждены приказом Госкомсвязи России №97 от 17.12.97 г.
6. Baskakov V.S.; Bourdine A.V., Kosova A.L. Analysis and estimation of errors occurring during fiber optic attenuation measurements by the optical time domain reflectometry technique // Proceedings of SPIE. Vol. 6277, 30 May 2006. – 62770F-1 – 62770F-9.
7. Баскаков В.С., Косова А.Л., Прокопьев В.И. Исследование ранних стадий деградации затухания оптического волокна кабелей связи введенных в эксплуатацию // Материалы МНТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций». Казань: Изд. КГТУ, 2011. – С. 291-292.

## INVESTIGATION OF ERROR OF OPTICAL FIBER LOSS MEASUREMENT ON FIBER OPTIC LINK

Baskakov V.S., Kosova A.L., Prokopjev V.I.

This paper demonstrates feature considerations of fiber optic data transmission systems, which is the main reason of importance increase of measurement assurance for fiber optic link parameter estimation and improvement of both accuracy and reliability of the obtained results. The features of the back-scattering time-domain method application were considered. As a result, we proved a necessity of taking into account

the influence of trace noise on the error of attenuation measurement both for the whole fiber optic link and its particular fragments. We researched the errors of measurement of attenuation coefficient and optical fiber splice loss depending on the optical signal-to-noise ratio and quasi regular span length. Some results of experimental researches are presented. They provide to educe correctly a degradation of fiber optic link parameters at the beginning and to couch the requirements for conditions of measurements by the back-scattering method.

**Keywords:** *fiber optic data transmission system, optical time-domain reflectometer, linear approximation, error of measurement, experimental research work, analysis of results.*

Баскаков Владимир Семенович, к.т.н., доцент Кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-846-951-27-77; 228-00-66. E-mail: baskakov@psati.ru

Косова Алевтина Леонидовна, к.т.н., доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. 8-846-228-00-66. E-mail: kosova\_al@mail.ru

Прокопьев Владимир Ильич, доцент Кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. Тел. 8-846-228-00-66.

УДК 621.396

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕО ТРАФИКА В СЕТЯХ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*Буранова М.А., Карташевский В.Г., Самойлов М.С.*

В статье представлены результаты исследований трафика Internet TV и IPTV уровня доступа (абонентского оборудования). Получены распределения длительности пакетов и интервалов между поступлениями пакетов.

**Ключевые слова:** IPTV, Internet TV, самоподобие, параметр Херста, законы распределения.

### Введение

Значительную долю трафика глобальных сетей занимают различные мультимедийные приложения. В [1] показано, что трафик мультимедиа-приложений является наиболее перспективным в глобальной сети, в том числе и трафик IPTV. Трафик, создаваемый абонентами IPTV, дает все больший вклад в общую загрузку IP-сетей. Услуга IPTV организуется конкретным провайдером с гарантированными параметрами QoS (Quality of Service – качество обслуживания), в то время как Internet TV может быть доступно пользователю в виде стандартного сервиса сети Internet, следовательно, трафик данного приложения обладает более низким приоритетом QoS. При этом зрителю Internet TV также требуется приемлемое качество предоставляемой услуги.

Важную роль играет изучение природы видеотрафика и влияния, оказываемого на него оборудованием и сетью телекоммуникационных операторов [2]. Не менее важно исследование структуры трафика, создаваемого одним абонентом. Сегодня в публикациях чаще всего приводятся результаты анализа степени самоподобия

трафика и влияния данных свойств на показатели качества обслуживания для речевого трафика [3-4], исследования мультимедийных потоков встречаются значительно реже. Ниже приведен анализ трафика Internet TV и трафика IPTV, регистрация которого проводилась на уровне доступа.

Говоря о самоподобном характере трафика, как правило рассматривают зависимость числа пакетов (заявок) от времени. Зависимости интервалов времени между пакетами и длительности пакетов от времени практически не исследуются на наличие свойств самоподобия (в некоторой степени эти вопросы рассматриваются в [5]), хотя при исследовании характеристик работы сетевых устройств методами теории массового обслуживания такая информация была бы весьма полезна.

Целью работы является исследование статистических свойств трафика Internet TV и трафика IPTV, включая анализ распределений временных характеристик потока пакетов и анализ наличия свойств самоподобия трафика через вычисление показателя Херста.

### Исходные данные

В статье проведен сравнительный анализ статистических характеристик телевизионного видеотрафика, передаваемого по сети IP. Анализируется трафик Internet TV и IPTV. Прием телевизионных программ организован двумя способами: с использованием специальной приставки – ресивера IPTV (трафик IPTV) и программной