

УДК 371.687:621.3.037.37

Метод оценки качества цифрового ТВ изображения, передаваемого по мультисервисной сети, использующей технологию подключения GPON

П. А. Дунаев

Рассматривается влияние оптической мощности в линии на качество цифрового телевизионного изображения при трансляции в мультисервисной сети, использующей технологию подключения GPON. Выявлена ступенчатая зависимость качества изображения от оптической мощности в канале. Качество изображения оценивалось методом субъективной оценки.

Ключевые слова: технология GPON, оптическая мощность, качество изображения, субъективный метод оценки, метод наименьших квадратов, функция Хевисайда.

1. Введение

Непрерывный рост скорости потоков данных в сетях типа NGN начинает ограничивать использование медной среды передачи (коаксиального кабеля и витой медной пары). Иными словами, в мире прослеживается тенденция перехода от чисто коаксиальных кабельных систем в сетях доступа к оптическим сетям.

Одним из наиболее проработанных и активно внедряемых современных решений абонентского широкополосного доступа к мультисервисным сетям является использование технологии PON (Passive Optical Network) путем прокладки волоконно-оптического кабеля. Причём для России наиболее привлекательным на сегодня считается решение FTTB (Fiber-To-The-Building), когда оптическое волокно доходит до здания (например, офиса или многоквартирного жилого дома). Особенно если учесть тот факт, что стоимость прокладки оптического и коаксиального кабелей практически одинаковая. Учитывая стратегическое преимущество, которое дает оптическая сеть по сравнению с медной, в ближайшее время станет экономически обоснованным оптический доступ в квартиру каждого абонента, т.е. технология FTTH (Fiber-To-The-Home). В этом случае, в принципе, можно использовать любой из способов передачи данных: SDH, ATM, Ethernet. Однако предпочтение в основном отдается Ethernet-протоколам [1, 2].

В основу технологии PON положена топология распределительной сети типа «точка – много точек» (рис.1). При таком техническом решении к одному из портов OLT (Optical Line Terminal) центрального узла, являющегося коммутатором доступа транспортной сети мультисервисной системы, подключается целый волоконно-оптический сегмент древовидной архитектуры, охватывающий десятки абонентов. При этом в промежуточных узлах дерева – узлах ветвления – устанавливаются компактные, полностью пассивные оптические разветвители (сплиттеры), не требующие питания и обслуживания. Причём до здания или подъезда может идти одно волокно, которое затем разветвляется на 32 или 64 направления в зависимости от фактического числа абонентов. Топология пассивных оптических сетей повторяет

топологию кабельной канализации, используемой для сетей традиционной телефонии. Сплиттер в большинстве случаев должен быть двух- или даже трёхдиапазонным, т.е. одновременно работать в трёх окнах прозрачности оптического волокна: 1310, 1490, 1555 нм.

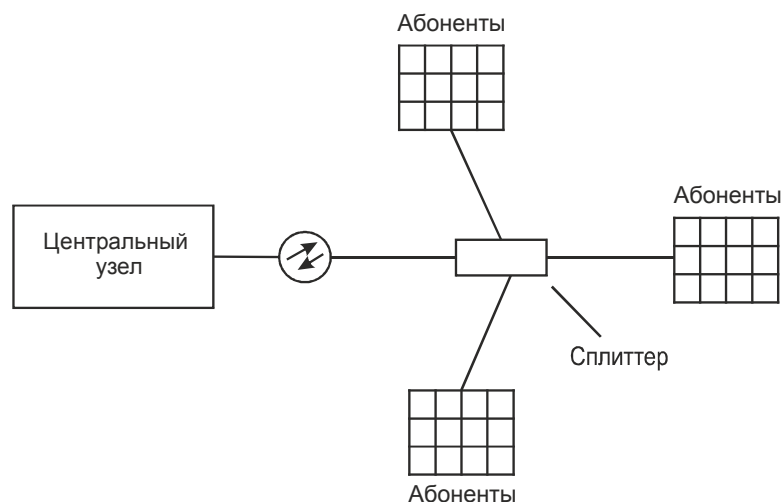


Рис. 1. Архитектура сети, построенной по технологии PON

В топологии «точка – много точек» за счёт оптимизации размещения сплиттеров может достигаться значительная экономия оптических волокон, а значит, снижение в целом стоимости кабельной инфраструктуры. Все абонентские узлы (Optical Network Terminal, ONT) являются терминальными, и отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не влияет на работу остальных. При этом каждый волоконно-оптический сегмент подключается к одному приёмопередатчику в центральном узле (в отличие от топологии «точка – точка»), что тоже даёт значительную экономию в стоимости обслуживания. В данном случае развитие сети доступа может проходить плавно в любых направлениях по мере необходимости.

В современных PON на физическом уровне для передачи прямого и обратного потоков данных используется одно оптическое волокно, полоса пропускания которого динамически распределяется между абонентами, или два волокна в случае резервирования.

В развертываемых в настоящее время сетях PON нисходящий поток от центрального узла к абонентам идёт на длине волны 1490 нм и имеет скорость 622 Мбит/с при использовании ATM-протокола, поддерживающего функцию QoS (в сумме на всех абонентов, предоставляя каждому пользователю скорость передачи данных в нисходящем потоке от 2 до 30 Мбит/с). Восходящие потоки данных от абонентов идут на длине волны 1310 нм с использованием протокола множественного доступа с временным разделением (Time Division Multiple Access, TDMA) и имеют суммарную скорость от 155 до 622 Мбит/с. В ряде случаев для передачи видео организуется дополнительный наложенный нисходящий канал на длине волны 1555 нм. Таким образом, в сетях оптического абонентского доступа используется технология WDM (Wavelength Division Multiplexing - мультиплексирование по длине волны, или спектральное мультиплексирование) [3].

Сеть строится с помощью пассивных делителей оптической мощности (сплиттеров), не требующих питания и обслуживания. Особенностью технологии является 100% оптический канал от АТС до квартиры или офиса клиента, что позволяет повысить качество передачи сигнала (голоса, данных, видео) и в десятки раз увеличить скорость передачи данных.

Одной из разновидностей сети PON является стандарт GPON. При этом реализуется увеличение как полосы пропускания сети PON, так и эффективности передачи разнообразных мультисервисных приложений.

GPON предоставляет масштабируемую структуру кадров при скоростях передачи от 622 Мбит/с до 2.5 Гбит/с и допускает системы как с одинаковой скоростью передачи прямого и обратного потока в дереве PON, так и с разной. GPON базируется на стандарте ITU-T G.704.1 GFP (generic framing protocol, общий протокол кадров), обеспечивая инкапсуляцию в синхронный транспортный протокол любого типа сервиса, в том числе TDM.

Услуги на базе GPON имеют достаточно широкий спектр применения с точки зрения функциональных возможностей и потребительских характеристик. Эта технология является стабильной и перспективной [4]. Однако при эксплуатации таких сетей возникают проблемы, которые отрицательно влияют на качество цифрового изображения.

2. Экспериментальные исследования качества цифрового ТВ изображения при использовании технологии подключения GPON

Целью данного эксперимента является выявить зависимость качества цифрового ТВ изображения от оптической мощности в канале.

2.1. Ресурс оптической мощности

Ресурс потерь для сети PON на основании Рекомендации МСЭ G.983.4 составляет 22 дБ от общего числа ресурсов потерь для сети PON класса В и 27 дБ для сети PON класса С. Класс В и класс С сети PON отличаются используемым лазером и, косвенно, качеством оптических компонентов. Такой ресурс потерь является достаточно жёстким, особенно в случае использования в конструкции разветвителей с большим количеством портов. Разветвители в сети PON вызывают внутренние потери, потому что входная мощность делится между несколькими выходами. Потеря разветвителя зависит от коэффициента ответвлений и составляет около 3 дБ на сплиттер 1 x 2, возрастая на 3 дБ при каждом удвоении количества выходов. Сплиттер 1 x 32 имеет потерю разветвителя по крайней мере в 15 дБ. Такая потеря наблюдается как в восходящем, так и в нисходящем направлениях [5].

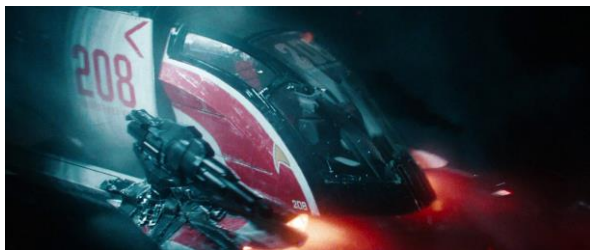
Потерю оптической мощности в канале на практике может вызвать плохое качество оптического патч-корда и применение количества оптических разветвителей больше нормы, старение кабеля, увеличение числа сплетений, отказ оконечного или станционного оборудования.

2.2. Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента была построена модель IP TV сети. В качестве головной станции использовалась многофункциональная IPTV платформа NetUP IP TV Combine. Через оптический коммутатор осуществлялось соединение со станционным оптическим модулем GPON OLT (Gigabit passive optical network, optical line terminal). В качестве оконечного оборудования применялся абонентский оптический модем GPON ONT (Gigabit passive optical network, optical network terminal).

При используемом классе лазера В+ измеренное значение оптической мощности в линии составляло – 27 дБ.

Качество изображения контролировалось на выходе головной станции (ГС) и на выходе абонентской линии (АЛ) (рис. 2) [6].



На выходе ГС



На выходе АЛ

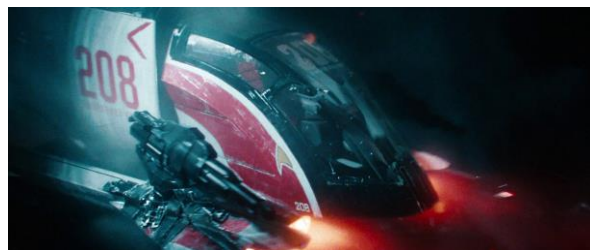
Рис. 2. Качество цифрового ТВ изображения
при значении оптической мощности в линии: – 27 дБ

С помощью оптического аттенюатора (рис. 3) вносилось затухание сигнала до – 32 дБ (шаг: – 1 дБ).



Рис. 3. Оптический аттенюатор

При значении оптической мощности в линии – 32 дБ наблюдается изменение качества цифрового ТВ изображения (рис. 4).



На выходе ГС



На выходе АЛ

Рис. 4. Качество цифрового ТВ изображения на выходе АЛ
при оптической мощности в линии: – 32 дБ

3. Субъективная оценка качества исследуемого цифрового телевизионного изображения

Предлагается обозначить зависимость качества цифрового телевизионного изображения от величины исследуемого параметра функцией $Q_{\text{HDI}}(d)$, где Q_{HDI} – качество цифрового ТВ изображения, d – значение оптической мощности в линии.

Первый этап анализа экспериментальных данных – это вычисление средней оценки Q_{HDI} и доверительного интервала для каждой демонстрации (табл. 1) согласно рекомендации МСЭ-R ВТ. 500-12 [7].

Таблица 1. Вычисленные средние значения оценок с учётом доверительных интервалов

Номер последовательности	Q_{HDI}	$Q_{\text{HDI max}}$	$Q_{\text{HDI min}}$	d
1	4.8	5	4.6	- 27
2	4.6	4.9	4.3	- 29
3	4.8	5	4.6	- 31
4	1.1	1.3	0.9	- 32
5	1.4	1.75	1.05	- 33
6	1.1	1.3	0.9	- 35

Параметр d – значение оптической мощности в линии, Q_{HDI} – ряд средних значений, $Q_{\text{HDI max}}$ – ряд максимальных значений, $Q_{\text{HDI min}}$ – ряд минимальных значений.

На рис. 5 показаны графики субъективной оценки при значении оптической мощности в линии от - 27 дБ до - 35 дБ.

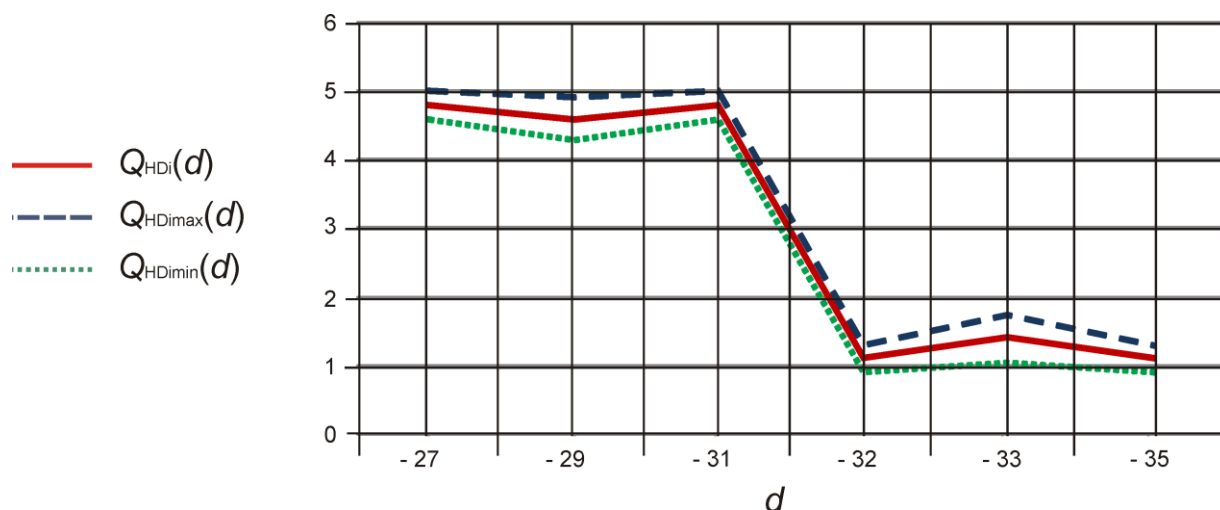


Рис. 5. Графическая зависимость ряда средних, максимальных и минимальных качества цифрового изображения от значения оптической мощности в линии

Для выбора метода построения функциональной зависимости, с помощью которой можно оценить качество цифрового телевизионного изображения, наиболее достоверно подтверждающую субъективную оценку качества при известных эксплуатационных параметрах сети и используемого оборудования, необходимо определить закон статистической функции распределения оценок.

3.2. Определение закона статистической функции распределения оценок

При определении закона распределения оценок используется испытание β_2 (вычисление коэффициента эксцесса функции, т. е. отношение момента четвёртого порядка к квадрату момента второго порядка). Если β_2 лежит в пределах от 2 до 4, то распределение считается нормальным. Настоящая процедура рекомендуется при применении метода DSIS (Double Stimulus Impairment Scale), а также при использовании метода DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) [7].

По каждой испытательной демонстрации вычисляется среднее значение Q_{HDI} , стандартное отклонение S_{jkr} и коэффициент эксцесса β_2 , где β_2 задается выражением [7]:

$$\beta_{2jkr} = \frac{m_4}{(m_2)^2}, \quad (1)$$

где m_x определяется по формуле:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{\text{HDijkr}} - Q_{\text{HDI}})^x}{N} \quad (2)$$

Для первой испытательной последовательности (табл. 1) момент четвёртого порядка m_4 в соответствии с выражением (1) равен 0.0832, момент второго порядка m_2 в соответствии с выражением (1) равен 0.16.

Коэффициент эксцесса функции β_2 в соответствии с выражением (2) оказывается равным 3.25.

Для второй испытательной последовательности:

$$m_4 = 0.4885, m_2 = 0.37, \beta_2 = 3.56.$$

Для третьей испытательной последовательности:

$$m_4 = 0.9098, m_2 = 0.51, \beta_2 = 3.49.$$

Для четвёртой испытательной последовательности:

$$m_4 = 0.1750, m_2 = 0.2233, \beta_2 = 3.51.$$

Для пятой испытательной последовательности:

$$m_4 = 0.9099, m_2 = 0.5067, \beta_2 = 3.54.$$

Для шестой испытательной последовательности:

$$m_4 = 0.1750, m_2 = 0.2233, \beta_2 = 3.51.$$

Так как условие $2 < \beta_2 < 4$ для всех испытательных последовательностей выполняется, то распределение оценок может считаться нормальным [7].

4. Оценка качества цифрового телевизионного изображения по экспериментальным данным

Исходя из полученной зависимости субъективной оценки качества цифрового телевизионного изображения от оптической мощности (рис. 5), получается, что зависимость $Q_{\text{HDI}}(d)$ приближается к функциональной зависимости, близкой к ступенчатой функции. Используя общую функцию Хевисайда, математическую модель сигнала (рис. 6) можно представить системой [8]:

$$Q_{\text{HDI}}(d) = \begin{cases} Q_1(d), & d \geq 27 \\ Q_2(d), & 31 \leq d \leq 32. \\ Q_3(d), & d \geq 32 \end{cases} \quad (3)$$

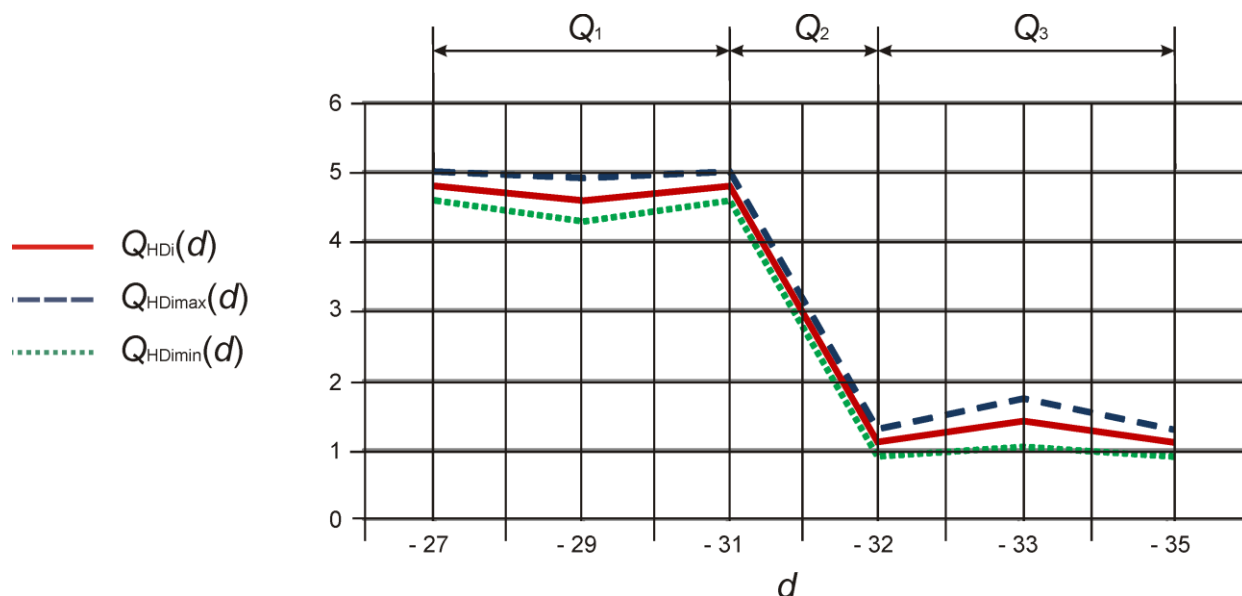


Рис. 6. К пояснению расчета

В соответствии с законом распределения субъективных оценок участки Q_1 и Q_3 выражаются через уравнения множественной регрессии. Для оценки параметров уравнения множественной регрессии применяется метод наименьших квадратов (МНК) [9].

4.1 Оценка уравнения регрессии для участков Q_1 и Q_3

Для оценки уравнения регрессии участков Q_1 и Q_3 необходимо определить вектор оценок коэффициентов регрессии [9]. Согласно методу наименьших квадратов вектор s получается из выражения:

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (4)$$

Для участка Q_1 матрица X составляется по значениям оптической мощности в линии (по данным табл. 1):

1	-27
1	-29
1	-31

Матрица Y состоит из значений субъективных оценок, соответствующих значениям оптической мощности для участка Q_1 :

4.8
4.6
4.8

Матрица X^T :

1	1	1
-27	-29	-31

Находится произведение матриц $X^T X$:

$$X^T X = \begin{pmatrix} 3 & -87 \\ -87 & 2531 \end{pmatrix}$$

В матрице $(X^T X)$ число 3, лежащее на пересечении 1-й строки и 1-го столбца, получено как сумма произведений элементов 1-й строки матрицы X^T и 1-го столбца матрицы X .

Произведение матриц $X^T Y$:

$$X^T Y = \begin{pmatrix} 14.2 \\ -411.8 \end{pmatrix}$$

Вычисляется обратная матрица $(X^T X)^{-1}$:

$$(X^T X)^{-1} = \begin{pmatrix} 105.458 & 3.625 \\ 3.625 & 0.125 \end{pmatrix}$$

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен:

$$Y(X) = \begin{pmatrix} 105.458 & 3.625 \\ 3.625 & 0.125 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 14.2 \\ -411.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.733 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Уравнение регрессии для Q_1 имеет вид:

$$Q_1 = 4.73 + 0d \quad (5)$$

Для участка Q_3 :

Матрица X (по данным табл. 1):

1	-32
1	-33
1	-35

Матрица Y :

1.1
1.4
1.1

Матрица X^T :

1	1	1
-32	-33	-35

Произведем вычисления согласно выражению 4.

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен:

$$Y(X) = \begin{matrix} 238.429 \\ 7.143 \end{matrix} \begin{matrix} 7.143 \\ 0.214 \end{matrix} \times \begin{matrix} 3.6 \\ -119.9 \end{matrix} = \begin{matrix} 1.914 \\ 0.0214 \end{matrix}$$

Уравнение регрессии Q_3 имеет вид:

$$Q_3 = 1.91 + 0.0214d \quad (6)$$

4.2 Оценка уравнения для участка Q_2

Оценка уравнения для участка Q_2 рассчитывается методом уравнения прямой, проходящей через две точки:

$$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_1} = \frac{d - d_1}{d_2 - d_1} \quad (7)$$

Подставив значения коэффициентов регрессии Q_1 и Q_2 , получаем:

$$\frac{Q_2 - 4.73}{1.91 + 0.0214d - 4.73} = \frac{d - (-31)}{-32 - (-31)}$$

Откуда:

$$Q_2 = -0.214d^2 + 2.16d + 92.15 \quad (8)$$

4.3 Математическая модель оценки качества цифрового ТВ изображения

Определим значения функции Хевисайда для участков Q_1 , Q_2 , Q_3 .

Для Q_1 :

$$h(d - 27) = \begin{cases} 1, & d \geq 27 \\ 0, & d < 27 \end{cases} \quad (9)$$

Для Q_2 :

$$h(d - 31) = \begin{cases} 1, & 31 \leq d \leq 32 \\ 0, & d < 31 \end{cases} \quad (10)$$

Для Q_3 :

$$h(d - 32) = \begin{cases} 1, & d \geq 32 \\ 0, & d < 32 \end{cases} \quad (11)$$

Тогда значения функции Хевисайда равны:

$$\begin{aligned} h(d - 27) &= 1; h(d - 31) = 0; h(d - 32) = 0 \text{ при } d \geq 27 \\ h(d - 27) &= 1; h(d - 31) = 1; h(d - 32) = 0 \text{ при } 31 \leq d \leq 32 \\ h(d - 27) &= 1; h(d - 31) = 1; h(d - 32) = 1 \text{ при } d \geq 32 \end{aligned}$$

Составим математическое выражение для оценки качества цифрового телевизионного изображения:

$$Q_{\text{HDI}} = Q_1 h(d - 27) + (Q_2 - Q_1) h(d - 31) + (Q_3 - Q_2) h(d - 32) \quad (12)$$

Подставив Q_1, Q_2, Q_3 в выражение 12, получим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{HDI}} &= 4.73 h(d - 27) + (-0.0214d^2 + 2.16d + 87.42) h(d - 31) + (0.0214d^2 - 2.14d \\ &\quad - 90.42) h(d - 32) \end{aligned} \quad (13)$$

Для каждой испытательной последовательности производился расчет с помощью составленного выражения 13.

Таблица 2. Результаты расчетов

d	- 27	- 29	- 31	- 32	- 33	- 35
Субъективная Q_{HDI}	4.8	4.6	4.8	1.4	1.1	1.4
Рассчитанная Q_{HDI}	4.73	4.73	4.73	1.27	1.25	1.21

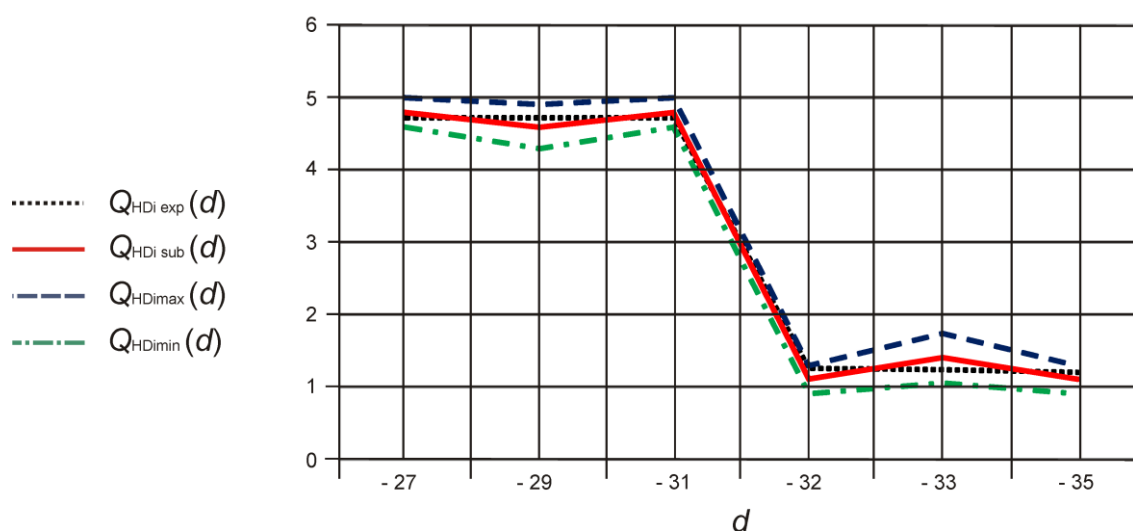


Рис. 7. Графическая зависимость ряда субъективных и рассчитанных оценок качества цифрового ТВ изображения от значения оптической мощности в линии при заданных доверительных интервалах

Таким образом, мы видим, что значения оценок качества цифрового ТВ изображения, рассчитанные с помощью выражения 13, входят в пределы заданных доверительных интервалов, взятых при субъективной оценке (рис. 7).

5. Выводы

При исследовании качества цифрового ТВ изображения при использовании технологии подключения GPON выявлено, что при изменении оптической мощности в канале возникают искажения на цифровом ТВ изображении.

Определён закон статистического распределения субъективных оценок качества исследуемого цифрового ТВ изображения.

Исследуя зависимость качества изображения от оптической мощности в канале, зафиксированы искажения цифрового ТВ изображения в пределах значений оптической мощности от – 31 дБ до – 32 дБ.

Предлагается математическая модель для оценки качества цифрового ТВ изображения при известных значениях оптической мощности в линии, соответствующая субъективной оценке качества изображения согласно рекомендации МСЭ-R BT.500-13.

*Статья поступила в редакцию 22.12.2014;
переработанный вариант – 09.02.2015*

Литература

1. Гаскевич Е., Убайдуллаев Р. PON – широкополосная мультисервисная сеть доступа // ТелеМультиМедиа, 2002. – № 2. – С. 29-32.
2. Пфайфер Т., Рингут Э., Гренджер А., Ванг Д. Оптические сети – пути к высокоскоростному широкополосному доступу // Технологии и средства связи, 2005. – № 4. – С. 28-33.
3. Мамчев Г.В. Использование в телевизионном вещании интернет – протокола. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. – 156 с.
4. Леонов А., Коньшев В. Технология PON – эффективная сеть доступа. // CONNECT - 2007. – № 7. – С. 110–114.
5. Материалы компании Alcatel-Lucent. ALU ISAM -product overview Introduction and Architecture 2010. [Электронный ресурс].
URL: <https://ru.scribd.com/doc/169493393/51793966-TAC03001-H002-I1-3-7302-7330-ISAM-Product-Overview-Intro-HW-CE> (дата обращения: 19.10.2014).
6. ГОСТ Р 52023-2003 Сети распределительные систем кабельного телевидения. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний.
7. Рекомендация МСЭ-R BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений.
8. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1998.
9. К. Хартман и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977.

Дунаев Павел Александрович

старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций АО «КАТУ им. С. Сейфуллина», (010000, Республика Казахстан, Астана, пр. Победы, 62), тел. (7172) 48-57-16, тел. сот. 8-701-532-43-66, e-mail: dunayev.kz@mail.ru.

Quality evaluation method of digital TV picture transferred via multiservice network employing GPON connection technology

P. Dunayev

In this paper, the influence of optical power in a line on quality of digital television picture when broadcasting in a multiservice network employing GPON connection technology is considered. Stepped dependence of picture quality on optical power in the channel is identified. Picture quality was evaluated via subjective estimation method.

Keywords: GPON technology, optical power, picture quality, subjective estimation method, method of the smallest squares, Hevisayd's function.