

УДК 621.396

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

© 2012 А.А. Воронков, И.Н. Алехин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Поступила в редакцию 19.03.2012

Дана оценка изменения качества передачи вследствие деформации модулей в конструкции оптического кабеля, позволяющая учитывать внешние воздействия в виде низких температур. Получены значения Q-фактора в зависимости от изменения температуры окружающей среды.

Ключевые слова: *оптический кабель, Q-фактор, остаточная деформация, температурный коэффициент линейного расширения*

Одной из основных характеристик качества работы волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) является коэффициент ошибок BER (или Q-фактор, который однозначно связан с BER). Согласно существующим на сегодняшний день требованиям нормативной документации эта величина не должна быть меньше  $10^{-12}$  [1] (что соответствует  $Q=7,04$ ). С целью оценки влияния остаточных деформаций на данную характеристику, выполнен расчет Q-фактора для системы передачи со спектральным уплотнением и оптическим предусилителем, работающей со скоростью 2,5 Гбит/с при типичной длине регенерационного участка (РУ), равной 120 км. Расчет выполнялся по методике расчета BER через оптическое отношение сигнал/шум OSNR, изложенной в стандартах МСЭ-T [2, 3]. Последовательность расчета по данной методике изложена ниже.

Для расчета Q-фактора необходимо определить оптическое отношение сигнал/шум, которое равно:

$$OSNR = P_{out} - A - NF + 58$$

где  $P_{out}$  – уровень мощности в канале на выходе РУ или на выходе системы передачи, дБ;  $A$  – общее затухание на РУ, учитывающее затухание пролета и затухание на сварных соединениях и разъёмных соединениях, дБ;  $NF=5,5$  дБ – потери, вносимые усилителем [4, 5], дБ.

Общее затухание на регенерационном участке определяется по формуле:

$$A = a \cdot L_{PY} + n_p \cdot a_p + n_H \cdot a_H + \Delta a(\Delta, t), \text{ дБ} \quad (1)$$

$$n_H = \frac{L_{PY}}{l_C} - 1,$$

где  $a$  – коэффициент затухания ОВ, дБ/км;  $L_{PY}$  – длина РУ;  $l_C$  – строительная длина кабеля (в среднем 4 км), км;  $n_p$  – число разъёмных соединений на РУ;  $a_p$  – затухание на разъёмном соединении, дБ;  $n_H$  – число неразъёмных соединений на РУ;  $a_H$  – затухание на неразъёмном соединении, дБ;  $\Delta a(\Delta, t)$  – затухание, вызванный изгибами ОВ в модуле из-за остаточной деформации модуля при низких температурах, дБ.

$$\Delta a(\Delta, t) = a_{bendloss}(\Delta, t) \cdot L + PDL(\Delta, t) \cdot L$$

где  $a_{bendloss}(\Delta, t)$  – потери ОВ в модуле вызванные остаточной деформацией модуля с учетом действия низких отрицательных температур;  $PDL(\Delta, t)$  – дополнительный прирост потерь, зависящих от поляризации, вызванный напряжениями в ОВ из-за изгибов, обусловленных остаточными деформациями модуля.

Время нарастания фронта оптического импульса на выходе источника оптического излучения от 10% до 90% его максимального значения непосредственно связано со скоростью передачи оптического сигнала в линии:

$$T_0 = \frac{0,48}{B_L}, \text{ пс} \quad (2)$$

Время нарастания фронта оптического импульса на выходе фотоприемника ОСП от 10% до 90% его максимального значения:

$$T_L = \sqrt{T_0^2 + \left(\frac{0,35}{BW_r}\right)^2 + \sigma_{ЭКВ}^2}, \text{ пс} \quad (3)$$

*Воронков Андрей Андреевич, кандидат технических наук, профессор кафедры линий связи. E-mail: voronkov@srctc.ru*

*Алехин Иван Николаевич, ассистент кафедры линий связи. E-mail: alekhin-pgati@yandex.ru*

где  $BW_R$  – полоса пропускания фотоприемника (рассматривается идеальный случай, когда  $BW_R = B_L$ ), Гц.

Прогнозируемое среднеквадратическое значение дисперсии на УУ рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_{\text{ЭКУ}} = \sqrt{D_{ch}^2 + D_{PDM}^2}, \text{ пс} \quad (4)$$

где  $D_{ch}$  и  $D_{PDM}$  – значения хроматической и поляризационной модовой дисперсии на ЭКУ, соответственно.

Прогнозируемое значение хроматической дисперсии  $D_{ch}$  на УУ заданной протяженности  $L_{\text{УУ}}$  определяется по следующей формуле:

$$D_{ch} = D \cdot \Delta\lambda \cdot L_{\text{УУ}}, \text{ пс} \quad (5)$$

где  $\Delta\lambda$  – ширина спектра излучения источника.

Прогнозируемое значение ПМД на УУ заданной протяженности:

$$D_{PDM} = PDM \cdot \sqrt{L_{\text{УУ}}}, \text{ пс} \quad (6)$$

Здесь  $PDM$  – параметр ПМД волокна. Коэффициент хроматической дисперсии на заданной рабочей длине волны:

$$D = \frac{S_0}{4} \cdot \left[ \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right], \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \quad (7)$$

Здесь  $S_0$  – параметр наклона спектральной характеристики дисперсии ОВ в точке нулевой дисперсии,  $\lambda_0$  – длина волны нулевой дисперсии, нм. Значение Q-фактора определяем по формуле [3]:

$$Q = \frac{2 \cdot 10^{0,1 \cdot OSNR}}{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot OSNR}}} \sqrt{\frac{B_0}{B_E}} \quad (8)$$

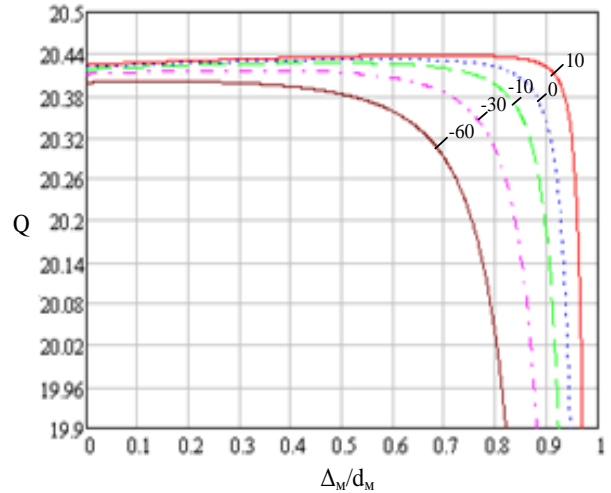
где  $B_0$  – полоса пропускания оптического фильтра на входе мультиплексора, Гц;  $B_E$  – полоса пропускания электрического фильтра в приемнике, Гц.

Согласно требованиям отношение  $\sqrt{\frac{B_0}{B_E}} = \sqrt{\frac{1}{0,75}}$ . Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

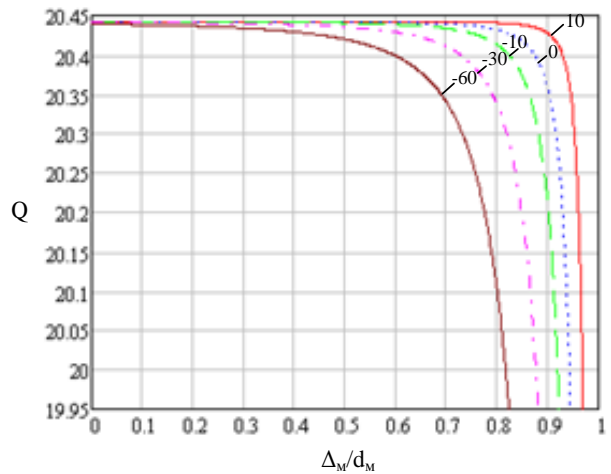
**Таблица 1.** Уровень мощности в канале системы передачи, дБ [6]

Параметр		Значение параметра для, $L_{\text{ру}}$ , км	
		120	
V=2,5 Гбит/с	STM-16	$P_{\text{out}}$ , дБ	4
		$P_R$ , дБ	-34

Все расчеты выполнялись для длины волны 1550 нм. Значение коэффициента затухания выбиралось равным 0,22 дБ/км. Ниже на рис. 1-3 построены графики зависимости Q-фактора от величины относительной остаточной деформации модуля  $\Delta_M/d_M$  для гипотетически самого плохого случая, когда модуль деформирован по всей длине трассы (120 км).

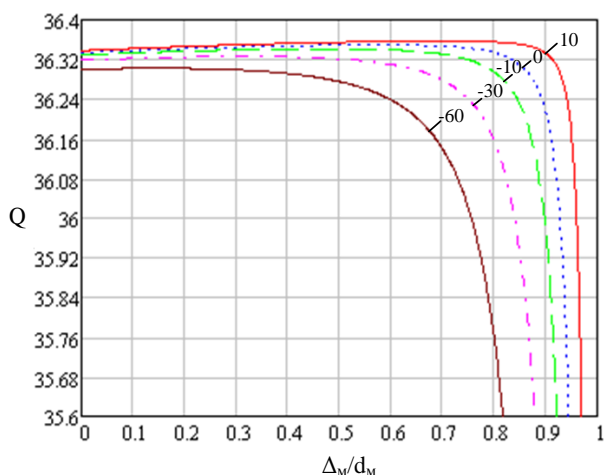


**Рис. 1.** Графики зависимости Q-фактора от относительной деформации модуля  $\Delta_M/d_M$ , мм для длины волны 1550 нм при различных температурах (шаг скрутки  $p=100$  мм,  $d_M=1,4$  мм,  $L=120$  км)



**Рис. 2.** Графики зависимости Q-фактора от относительной остаточной деформации модуля  $\Delta_M/d_M$ , мм для длины волны 1550 нм при различных температурах (шаг скрутки  $p=100$  мм,  $d_M=1,4$  мм,  $L=120$  км)

Как видно из графиков на рис. 2 значение Q фактора практически не меняется до определенных значений остаточных деформаций модуля. Однако начиная с некоторого порога значения Q резко падают (а значения коэффициента ошибок увеличиваются). При этом пороговая величина деформации модуля зависит от температуры.



**Рис. 3.** Графики зависимости Q-фактора от относительной деформации модуля  $\Delta_M/d_M$ , мм для длины волны 1550 нм при различных температурах (шаг скрутки  $p=100$  мм,  $d_M=1,4$  мм,  $L=100$  км)

Поскольку подвесные оптические кабели (ОК) могут эксплуатироваться в достаточно жестких условиях (при температурах  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже), недопустимым является возникновение остаточных деформаций модуля более 20-25% от его внутреннего диаметра. Уменьшение длины деформированного участка модуля не

влияет на значение пороговой деформации, при которой наблюдается резкое ухудшение Q-фактора, а влияет лишь на общее значение Q-фактора для случая, когда модуль не деформирован совсем (рис. 3).

**Вывод:** рассчитывая Q-фактор можно оценить качество передачи по ОК в условиях внешних воздействий в виде низких температур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ОСТ 45.178-2001. Системы передачи с оптическими усилителями и спектральным уплотнением. – М.: Минсвязи России, 2001. 18 с.
2. ITU-T Rec. G.692. Optical interface sformulti-channel systems with optical amplifiers. 1998. 41 p.
3. ITU-T Supplement 39. Optical system design and engineering considerations. 2006. 92 p.
4. РД 45.186-2001. Аппаратура для волоконно-оптических усилителей для применения на взаимоувязанной сети связи РФ. – М.: Минсвязи России, 2001. 21 с.
5. ITU-T Rec. G.957. Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy. 2006. 38 p.
6. ОСТ 45.104-97. Стыки оптические систем передачи синхронной цифровой иерархии. Классификация и основные параметры. 1998. 5 с.

## ESTIMATION THE TRANSFER QUALITY CHANGE OWING TO OPTICAL CABLE CONSTRUCTION DEFORMATION AT LOW TEMPERATURE

© 2012 A.A. Voronkov, I.N. Alekhin

Volga Region State University of Telecommunications and Informatics

The estimation of transfer quality change owing to deformation in modules of construction of optical cable, allowing to consider external influences in the form of low temperatures is given. Values of Q-factor depending on environment temperature change are received.

Key words: *optical cable, Q-factor, residual deformation, temperature coefficient of linear expansion*