

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА

Д.П. Андреев, М.А. Орлов, Е.И. Андреева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, 195251, Россия

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Россия

Исследовано влияние на оптические и прочностные характеристики волоконных световодов таких внешних воздействий, как изгиб, осевое натяжение и кручение. Показано, что натяжение изогнутого волоконного световода вызывает увеличение оптических потерь по сравнению со случаем ненапрянутого световода. Следует учитывать, что этот эффект влияет не только на отношение сигнал-шум на выходе системы, но также на возможность несанкционированного доступа. Риск сокращения срока службы световода при этом также возрастает. Совместное влияние изгиба и кручения световода также вызывает ухудшение передаточных характеристик световода и его механическую прочность. Таким образом, показано, что при монтаже и эксплуатации оптической кабельной системы следует избегать ситуаций, вызывающих изгиб, осевое натяжение и кручение волоконного световода и тем более их совместное влияние. Для диагностики этих эффектов могут применяться рефлектометрические методы

ОСЕВОЕ НАТЯЖЕНИЕ ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА

При осевых натяжениях волоконного световода, изготовленного из кварцевого стекла, справедливо использование закона Гука. Будем считать, что к световоду приложено растягивающее усилие P . Соответствующие напряжения в световодном стержне и защитных оболочках можно определить по соотношениям:

$$\sigma_k = P \frac{E_k}{\sum_{i=1}^4 E_i F_i}$$

где значению $k = 1$ соответствует сердцевина, $k=2$ – отражающая оболочка, $k = 3$ и $k = 4$ – защитное лаковое и полимерное покрытие, где F_i – текущая площадь поперечного сечения, E_i – модуль Юнга i -го слоя.

В общем виде при расчете параметров волоконного световода по линейной модели можно пользоваться соотношениями для сердцевины

$$n_{x_1} = n_1 + \frac{C_{11} P E_1}{\sum_i E_i F_i}$$

и отражающей оболочки

$$n_{x_2} = n_2 + \frac{C_{12} P E_2}{\sum_i E_i F_i}$$

Как показывают расчеты, под влиянием осевого натяжения волоконного световода показатели преломления сердцевины и отражающей оболочки уменьшаются, но их разность увеличивается. Экспериментальное исследование, проведенное при растягивающих усилиях 2 ... 20 Н подтвердило отсутствие дополнительных потерь. Однако, значительные растягивающие усилия, особенно длительного воздействия или большие по величине, могут сократить срок службы оптического кабеля. Для выявления сегментов волоконного световода, подверженных осевому растягивающему усилию, применяются бриллюэновские рефлектометры

ИЗГИБ ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА С НАТЯЖЕНИЕМ

Напряжения в волоконном световоде вследствие изгиба приводят к изменению профиля показателя преломления и, как результат, нарушают эффект полного внутреннего отражения на границе сердцевина-оболочка. Для сердцевины световода и отражающей оболочки соответственно:

$$n_{1z} = n_1 + C_{11}(\sigma_{z_{bend}}^{(1)} + \sigma_{z_f}^{(1)})$$

$$n_{2z} = n_2 + C_{12}(\sigma_{z_{bend}}^{(2)} + \sigma_{z_f}^{(2)})$$

где n_i – показатель преломления в ненагруженной (невозмущенной) среде, n_x , n_y , n_z – диагональные компоненты тензора показателя преломления, C_{11} , C_{12} – светопругие постоянные.

Расчет оптических параметров в общем случае должен проводиться с учетом профиля показателя преломления и параметров покрытия волоконного световода. Поэтому большое значение имеет экспериментальное исследование. На рис.1 приведены спектральные зависимости изгибных потерь для разных типов волоконных световодов: волоконные световоды со смещенной дисперсией для высокоскоростных линий связи (NZDSF — Non-Zero Dispersion Shifted Fiber), характеристики которых соответствуют международному стандарту G.655, 2 – стандартные одномодовые волоконные световоды, SSMF – Standard Singlemode Fiber, стандарт G.652, 3 – волоконные световоды с пониженной чувствительностью к изгибу, BLIF – Bending Loss Insensitive Fiber, стандарт G.657. Как видно из представленных результатов характер спектральных зависимостей изгибных потерь исследованных световодов имеет линейный характер, что позволяет применять предлагаемую модель. Различие профилей показателя преломления исследованных волоконных световодов обуславливает различие потерь при их изгибе.

Осевое натяжение волоконного световода приводит к росту оптических потерь на изогнутом участке волокна. Так, при осевом натяжении с усилием от 2,5 до 15 Н изогнутого участка волоконного световода со смещенной дисперсией дополнительные потери оптической мощности возрастают в пять раз (рис.2). Линейная динамика зависимости $\alpha(P)$ подтверждает справедливость используемой модели

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель совместного учета изгиба и натяжения волоконного световода. Проведено экспериментальное исследование различных типов волоконных световодов. Показано, что необходимо учитывать совместное действие изгиба и натяжения, изгиба и кручения световода, так как их наложение вызывает существенно большее ухудшение передаточных характеристик световода, по сравнению со случаем, когда эти эффекты проявляются по отдельности

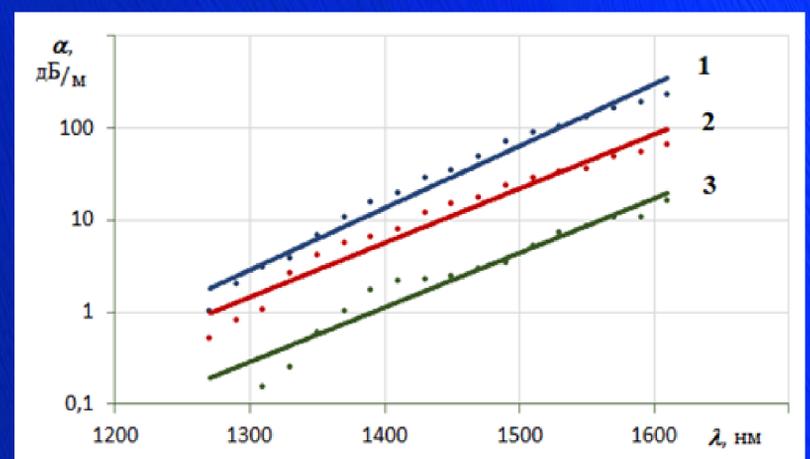


Рис. 1. Изгибные потери $\alpha(\lambda)$: 1 – волоконный световод со смещенной дисперсией (G.655), 2 – стандартный волоконный световод (G.652), 3 – волоконный световод с пониженной чувствительностью к изгибу (G.657) (радиус изгиба $R = 6,25$ мм)

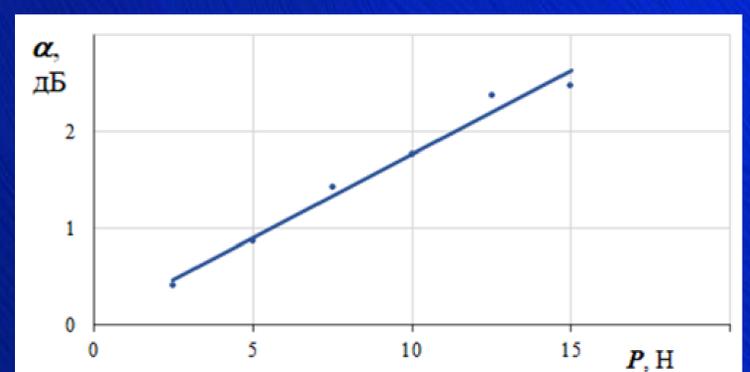


Рис. 2. Дополнительные потери α на изогнутом участке волоконного световода со смещенной дисперсией (G.655) от приложенного осевого усилия P