

2. Luca A. D., Hertzschy K., Hussmann H. ColjrPIN: Securing PIN entry through indirect input // Proc. CHI, 2010, pp. 1103–1106.
3. Bianchi A., Oakley I., Kostakos V., Kwon D.-S. The phone lock: Audio and haptic shoulder-surfing resistant PIN entry methods for mobile devices // Proc. TEI, 2011, pp. 197–200.
4. Bianchi B., Oakley I., Kwon D.-S. Counting clicks and beeps: Exploring numerously based haptic and audio PIN entry. Interact. Comput., 2012, vo. 24, no. 5, pp. 409–412.
5. Яковлев В. А., Архипов В. В. Аутентификация пользователей на основе устойчивого к подсматриваниям графического пароля «Шахматы» // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2014. № 1. С 25–35.
6. Архипов В. В., Яковлев В. А. Способ аутентификации пользователей с защитой от подсматривания. Пат. 2541868 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель ФГОБУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича». – № 2013122262/08; заявл.14.05.2013; опубл. 20.02.2015.
7. Kleidermacher D. Picture Perfect Privacy for PRIV. URL: <http://blogs.blackberry.com/2015/12/picture-perfect-privacy-for-priv/>. (дата обращения 08.12.15).

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СЕТЯХ PON. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

А.В. Астахов, В.Р. Сумкин

Практика поиска и устранения неисправностей при монтаже сетей PON показала, что наличие избыточного количества изгибов оптического волокна приводит к большим потерям на длине волны 1490 нм, тогда как недостаточно плотная фиксация оптических разъёмов существенно сильнее сказывается на затухании излучения на длине 1310 нм. Для объяснения этой особенности был проведён теоретический анализ потерь на макроизгибах оптического волокна и потерь на продольном зазоре для различных длин волн, используемых в сетях PON.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, тестирование PON, оптическое волокно, спектральный диапазон, длина волны, оптическое излучение.

ANALYSIS OF TROUBLESHOOTING IN PON. THEORY AND PRACTICE

Astakhov A, Sumkin V.

As the practice of troubleshooting during the installation of PON shows, the presence of excess fiber bends causes the large losses at a wavelength of 1490 nm, whereas not enough tight fixations of optical connectors greatly affects the attenuation at a wavelength of 1310 nm. Theoretical analysis of losses caused by optical fiber macrobends and losses at a longitudinal gap for different wavelengths used in PON was carried out to explain this feature.

Keywords: passive optical network, PON testing, optical fiber, spectral range, wavelength, optical radiation

Тестирование распределительных сетей PON, выявление и устранение дефектов при строительстве и во время приемо-сдаточных работ являются важ-

ными и достаточно трудоемкими задачами. Это обусловлено особенностью сети PON, которая заключается в разветвленности сети и большом количестве точек тестирования (абонентских портов), особенно в многоэтажных, многоквартирных домах.

Анализ дефектов, проявившихся в процессе монтажа и наладки сетей PON, показал, что наиболее частыми причинами неисправностей во вновь вводимой сети являются избыточные потери, которые вызваны изгибами оптического волокна (нарушения при прокладке кабеля) и избыточные потери в оптических разъёмах за счёт неплотной фиксации соединителей (нарушения при монтаже сети).

Понимание физической природы возникновения потерь обусловленных данными дефектами позволяет уверенно различать их, что значительно ускорит локализацию дефектов и уменьшит время на их устранение.

Практика поиска и устранения неисправностей при монтаже сетей PON показала, что наличие избыточного количества изгибов оптического волокна приводит к большим потерям на длине волны 1625 нм по сравнению с длиной волны 1310 нм. Тогда как недостаточно плотная фиксация оптических разъёмов существенно сильнее сказывается на затухании излучения на длине волны 1310 нм. Описываемая особенность наиболее ярко проявляется при использовании оптического волокна стандарта G657A2, которое используется в составе оптического кабеля при строительстве распределительной сети PON.

Для объяснения этой особенности был проведён теоретический анализ потерь на макроизгибах оптического волокна и потерь на продольном зазоре для различных длин волн, используемых в сетях PON.

Для расчёта использовались паспортные характеристики оптического волокна FUJIKURA G657 A2:

- длина волны отсечки $\lambda_c = 1260$ мкм;
- диаметр модового поля $2W_0(1310 \text{ нм}) = 8,6$ мкм.

С учётом этих параметров были рассчитаны диаметры модового поля для длин волн 1310 нм и 1625 нм. При расчёте использовалась формула Маркузе [1]:

$$2 \cdot W_0 = 2 \cdot a \cdot \left[0,65 + 0,434 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^{3/2} + 0,0149 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^6 \right].$$

Это позволило построить зависимость диаметра модового поля от длины волны в спектральном диапазоне, используемом в сетях PON (рис. 1).

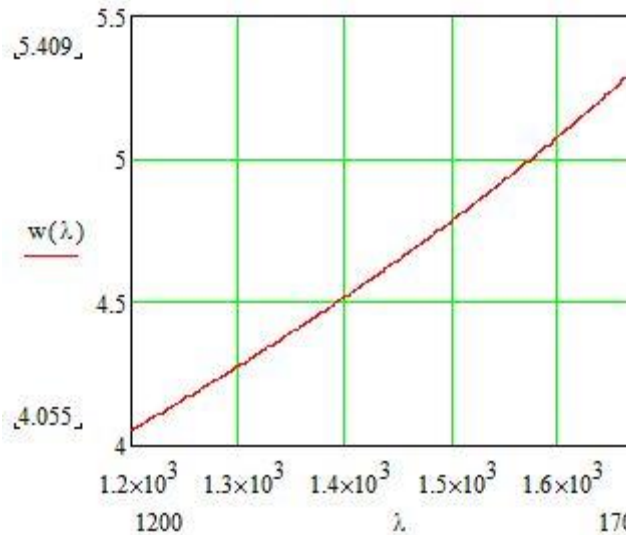


Рис. 1. Зависимость диаметра модового поля от длины волны

В свою очередь, диаметр модового поля позволяет рассчитать как потери на продольном зазоре в разъёмном соединителе, так и потери на макроизгибе оптического волокна.

При расчёте потерь на продольном зазоре в разъёме использовалась аппроксимация волны, излучаемой торцом одномодового волокна, как гауссового пучка с заданным параметром $2W_0$, соответствующим каустике пучка. При известной длине волны λ величина W_0 полностью определяет рэлеевскую длину пучка Z_0 , соответствующую расстоянию вдоль оси пучка, на котором площадь поперечного сечения пучка увеличивается вдвое [2]:

$$Z_0 = \frac{\pi \cdot (W_0)^2}{2},$$

и геометрия поведения пучка в зазоре может быть описана схемой (рис. 2).

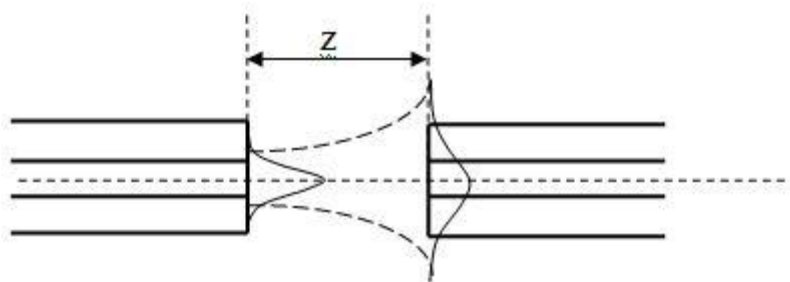


Рис. 2. Геометрия поведения пучка в зазоре оптических волокон

Для такой схемы доля мощности η , переносимой пучком через площадь радиусом W_0 (на торце приёмного волокна при расстоянии z между торцами) может быть описана формулой:

$$\eta(z) = 1 - e^{\left[\frac{-2 \cdot W_0^2}{w^2(z)}\right]},$$

где $w(z)$ – радиус гауссова пучка на торце приёмного волокна (на расстоянии z от торца передающего волокна):

$$w^2(z) = W_0^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{Z_0} \right)^2 \right].$$

Так как и W_0 , и Z_0 зависят от длины волны λ , то и потери в продольном зазоре также будут зависеть от длины волны λ . Эти зависимости приведены на графике (рис. 3).

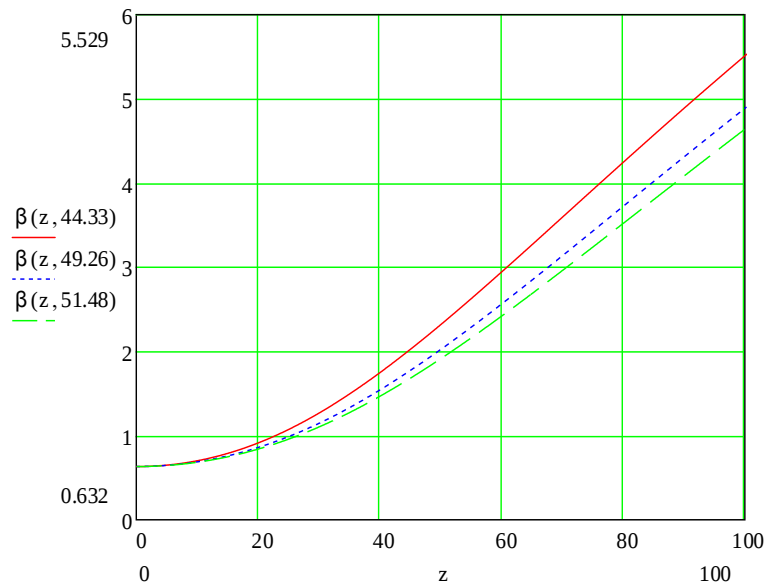


Рис. 3. Зависимость потерь в продольном зазоре разъемного соединения

Потери для длины волны 1310 мкм (верхняя кривая) при одинаковой величине продольного зазора заметно больше, чем для длины волны 1625 мкм (нижняя кривая).

Это различие особенно заметно при больших продольных зазорах (более 60 мкм).

Потери на макроизгибе радиуса R для одномодового волокна с показателем преломления сердцевины n_1 могут быть рассчитаны по формуле [1]:

$$\alpha = 10 \lg \left[1 - (k \cdot n_1)^4 \cdot \frac{(W_0)^6}{8 \cdot R^2} \right], \text{ дБ}$$

где $k = 2\pi/\lambda$, волновое число распространяющейся по волокну оптической волны.

Из формулы видно, что потери на макроизгибе сложным образом зависят от длины волны излучения (так как и k , и W_0 зависят от λ). Графики этих зависимостей для трёх длин волн приведены на рисунке 4.

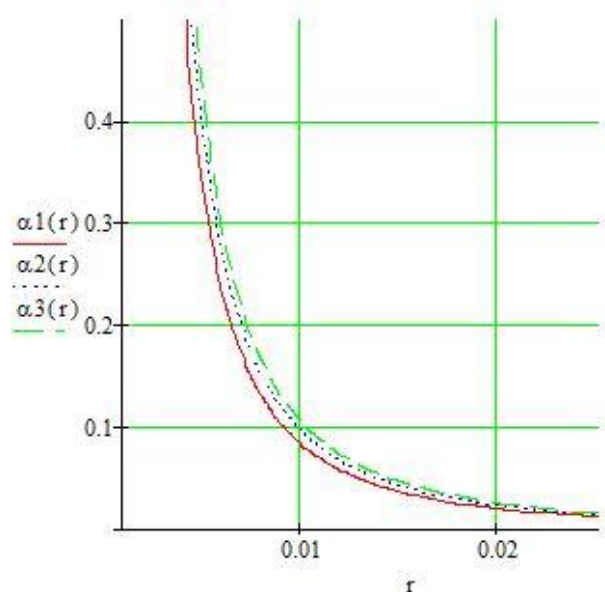


Рис. 4. Зависимость потерь на макроизгибе оптического волокна

Анализ расчётных кривых показывает, что излучение с длиной волны 1625 мкм (верхняя кривая) оказывается более чувствительно к макроизгибам волокна, чем излучение с длиной волны 1310 мкм (нижняя кривая), особенно при малых радиусах изгиба (меньше 10 мм).

Таким образом, проведённый теоретический анализ показал, что различные по своей природе дефекты монтажа вызывают увеличение потерь излучения, которое существенным образом зависит от природы дефекта. Изгибы волокна приводят к большему росту потерь на длине волны 1625 мкм, тогда как недостаточно плотная фиксация оптических разъёмов существенно сильнее сказывается на затухании излучения 1310 нм.

В заключение еще раз необходимо отметить, что сравнивая уровни потерь в различных спектральных диапазонах, можно идентифицировать характер повреждения, быстрее и точнее локализовать его место нахождения и уменьшить время на наладку смонтированной сети PON.

Список используемых источников

1. Кауфман М., Сидман А. Практическое руководство по расчётам схем в электронике: справ. В 2 т. Т. 2.: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1993. 288 с.
2. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: пер. с англ. В 2 т. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. Т. 1. 760 с.

МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

П.В. Безбородкин, М.В. Быков, В.В. Демидов, К.В. Дукельский

Приведены данные о разработке одномодовых микроструктурированных волокон с сердцевинной диаметром 35 мкм, отличающихся от аналогов лучшей устойчивостью фундаментальной моды к изгибу. Показано, что одномодовый режим распространения излучения достигается в волокнах за счет явления дифференциального модового затухания, обусловленного различием в интенсивности вытекания фундаментальной и высшей мод.

Ключевые слова: микроструктурированное волокно, большая сердцевина, одномодовый режим

MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS FOR INFORMATION TRANSFER AND PROCESSING SYSTEMS

Bezborodkin P., Bykov M., Demidov V., Dukelskii K.

Data on development of single-mode microstructured fibers with a 35 micron core diameter different from analogs by the higher bending resistance property are provided. It is shown that the single-mode regime of operation is reached in fibers due to the phenomenon of differential mode attenuation caused by a distinction in leakage intensity of fundamental and higher-order modes.

Keywords: microstructured fiber, large core, single-mode operation

Микроструктурированные волокна с оболочкой, образованной гексагональной системой воздушных отверстий, и сердцевинной из кварцевого стекла обладают световодным эффектом за счет явления полного внутреннего отражения [1]. Волокна такого типа обладают рядом преимуществ по сравнению с аналогами, изготовленными из сплошных оптических сред, в частности, возможностью поддерживать одномодовый режим распространения излучения в неограниченном спектральном диапазоне [2] и в сердцевине диаметром в несколько десятков микрометров [3]. Данное обстоятельство позволяет рассматривать микроструктурированные волокна в качестве перспективных элементов для создания волоконных лазеров и усилителей с высокой средней и пиковой мощностью, охватывающих одновременно *S*-, *C*-, *L*- и *U*-диапазоны, а также лидаров, дальномеров и систем дистанционного зондирования.

Однако на практике увеличению размеров сердцевинной одномодового микроструктурированного волокна препятствует значительное сокращение рабочего спектрального диапазона из-за смещения границы коротковолнового вытекания фундаментальной моды в область больших значений длины волны излучения [4, 5, 6]. Например, оптический элемент с сердцевинной диаметром 35 мкм и параметром $k = 0,50$, характеризующим степень содержания воздуха в оболочке ($k = d/\Lambda$, d – диаметр отверстия, Λ – шаг структуры), оказывается работоспособным при расположении на катушке радиусом не менее 16 см [7], габариты которой могут быть неприемлемыми для ряда приложений.