

## МЕТОДИ І СИСТЕМИ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

УДК 621.372

### ЗАТУХАНИЕ В КОНЕКТОРАХ ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Кучеренко О. К., Кучеренко В. А.

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”  
г. Киев, Украина

E-mail: [oleg.k.kucherenko@gmail.com](mailto:oleg.k.kucherenko@gmail.com)

Цель настоящей статьи – проанализировать влияние погрешностей оптических разъемов–коннекторов на потери излучения в этих элементах волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Рассмотрены, в частности, зависимости потерь излучения при соединении многомодовых и одномодовых световодов при наличии в коннекторе поперечной и угловой децентровки и осевого зазора. Статья содержит аналитические соотношения и результаты исследования в программе Mathcad влияния указанных ошибок на величину потерь излучения в коннекторах. Результат проведенных исследований позволит сформулировать требования к допустимой величине погрешностей коннекторов, исходя из регламентирующих требований к коннекторам в оптических линиях связи и к стендам для контроля затухания излучения в волоконных световодах.

**Ключевые слова:** погрешность коннекторов, потери излучения, линии оптической связи, стенды для тестирования световодов.

#### Введение

При приемо-сдаточных испытаниях ВОЛС проводят измерения затухания соединяемых волокон в двух направлениях методом вносимых потерь. ВОЛС может быть введена в эксплуатацию, если измеренное затухание меньше максимального, определяемого расчетным путем по формуле [1]

$$\Pi_{\text{изл}} = \alpha \cdot L + \Pi_{\text{н.с.}} \cdot N_{\text{н.с.}} + \Pi_{\text{р.с.}} \cdot N_{\text{р.с.}}, \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания световода на километр длины, дБ/км;  $L$  – общая длина ВОЛС, км;  $\Pi_{\text{н.с.}}$  – затухание на неразъемном соединении (сварка), дБ;  $N_{\text{н.с.}}$  – количество неразъемных соединений;  $\Pi_{\text{р.с.}}$  – затухание в разъемном соединении, дБ;  $N_{\text{р.с.}}$  – количество разъемных соединений.

В соотношении (1) входит важная составляющая, определяющая вклад в затухания ВОЛС разъемных соединений – коннекторов. В целом значения затухания во всех элементах ВОЛС определяют длину регенерационного участка линии связи [2]. Нормированные значения затухания в разъемных соединениях и максимально возможные, согласно требований Киевский городской дирекции ОАО “Укртелеком” (ФС/РС, Лист, Лист X), приведены в табл. 1. [3].

Потери в разъемных соединениях определяется рядом конструктивных погрешностей, основными из которых являются:

- поперечная и угловая децентровки при соединении волокон;
- осевой зазор между соединяемыми световодами.

Таблица 1. Допустимые затухания в конекторах

Тип световодов	П <sub>р.с.</sub> , норм, дБ	П <sub>р.с.</sub> , max, дБ
многомодовые	0,5	1,0
одномодовые	0,2	0,4

### Постановка задачи

Актуальной является задача анализа влияния указанных ранее децентрировок и осевого зазора в конекторе на величину затухания излучения. Сравнить полученные рассчитанные значения с нормированными значениями затухания и сформулировать требования к допустимым погрешностям конекторов. Эта задача решалась с применением программы Mathcad. Исследования проводились для типичных конструктивных параметров многомодовых и одномодовых световодов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Потери излучения в конекторах при соединении многомодовых и одномодовых световодов зависят от диаметров световодов, длины волны излучения, числовой апертуры световодов, относительной разницы показателей преломления сердцевины и оболочки световодов, а также величины возможных погрешностей в конструкции конекторов. Зависимость потерь излучения от указанных параметров определяется следующими соотношениями [4].

При поперечной децентрировке в конекторе потери в соединении равны:

– для многомодовых световодов

$$П = -10 \lg \left[ \frac{2}{\pi} \arccos \left( \frac{\delta}{d_c} \right) - \frac{\delta}{d_c} \sqrt{1 - \left( \frac{\delta}{d_c} \right)^2} \right], \text{ дБ}; \quad (2)$$

– для одномодовых световодов

$$П = -10 \lg \left[ \exp - \left( \frac{\delta}{d_{\text{эф}}} \right)^2 \right], \text{ дБ}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – величина поперечной децентрировки, мкм;  $d_c$  – диаметр сердцевины многомодового световода, мкм;  $d_{\text{эф}}$  – эффективный диаметр сердцевины одномодового световода, мкм.

При угловой децентрировке в конекторе потери в соединении равны:

– для многомодовых световодов

$$П(\Delta, \theta) = -10 \lg \left[ 1 - \frac{n \left( \frac{\theta}{60} \cdot \frac{\pi}{180} \right)}{\pi n_c \sqrt{2\Delta}} \right], \text{ дБ}; \quad (4)$$

– для одномодовых световодов

$$П(\lambda, \theta) = -10 \lg \left[ \exp \left[ - \frac{\pi n d_{\text{эф}} \left( \frac{\theta}{60} \cdot \frac{\pi}{180} \right)}{\lambda} \right] \right], \text{дБ}, \quad (5)$$

где  $n$  – показатель преломления окружающей среды;  $n_c$  – показатель преломления сердцевинны световода;  $\Theta$  – величина угловой децентрировки, угл. мин.;  $\Delta$  – относительная разница показателей преломления сердцевинны  $n_c$  и покрытия  $n_n$ , равная  $\Delta = \frac{n_c^2 - n_n^2}{2n_c}$ .

При осевом зазоре в конекторе для многомодовых и одномодовых световодов потери определяются соотношением:

$$П(x) = -10 \lg \left( 1 - x \frac{\text{tg} NA}{2d} \right), \text{дБ}, \quad (6)$$

где  $NA$  – числовая апертура световодов;  $d$  – диаметр сердцевинны световодов, мкм;  $x$  – величина осевого зазора между соединяемыми световодами, мкм.

Для проведения анализа были взяты параметры наиболее популярных световодов (стандарты ITU-TG651-1; IEC 60793):

- диаметр сердцевинны многомодовых световодов  $d_c = 62,5$  мкм (диаметр покрытия  $d_n = 125$  мкм);
- эффективный диаметр сердцевинны одномодовых световодов  $d_{\text{эф}} = 9,5$  мкм (диаметр покрытия  $d_n = 125$  мкм);
- длина волны излучения  $\lambda_1 = 1300$  нм;  $\lambda_2 = 1550$  нм;
- поперечная децентрировка:  $\delta = (0 \div 5)$  мкм – для многомодовых световодов;  $\delta = (0 \div 2)$  мкм – для одномодовых световодов;
- угловая децентрировка:  $\theta = (0 \div 120)$  угл.мин. – для многомодовых световодов;  $\theta = (0 \div 12)$  угл.мин. – для одномодовых световодов;
- относительная разность показателей преломления сердцевинны и оболочки для многомодового световода  $\Delta = 0,01$ ;
- числовая апертура: для одномодового световода  $NA = 0,1$ ; для многомодового световода  $NA = 0,275$ ;
- показатель преломления сердцевинны световода  $n_c = 1,46$ .

Зависимости потерь излучения в конекторах от рассматриваемых погрешностей, рассчитанные в соответствии с формулами (2) ÷ (6), приведены на графиках рисунка 1.

### Выводы и рекомендации

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1. Поперечная децентрировка практически одинаково влияет на потери излучения при соединении как многомодовых, так и одномодовых световодов. Поперечная децентрировка в конекторе для обоих случаев при допустимой величине потерь  $П(\delta) = 0,2$  дБ должна быть не более 2 мкм.

2. Потери излучения величиной  $\Pi(\theta)=0,2$  дБ возможны, когда соединяются многомодовые световоды с угловой децентрировкой в конекторе  $\theta=100$  угл.мин., а для одномодовых световодов при тех же потерях децентрировка должна быть в пределах  $\theta=8$  угл. мин. и зависит от длины волны распространяющегося излучения.

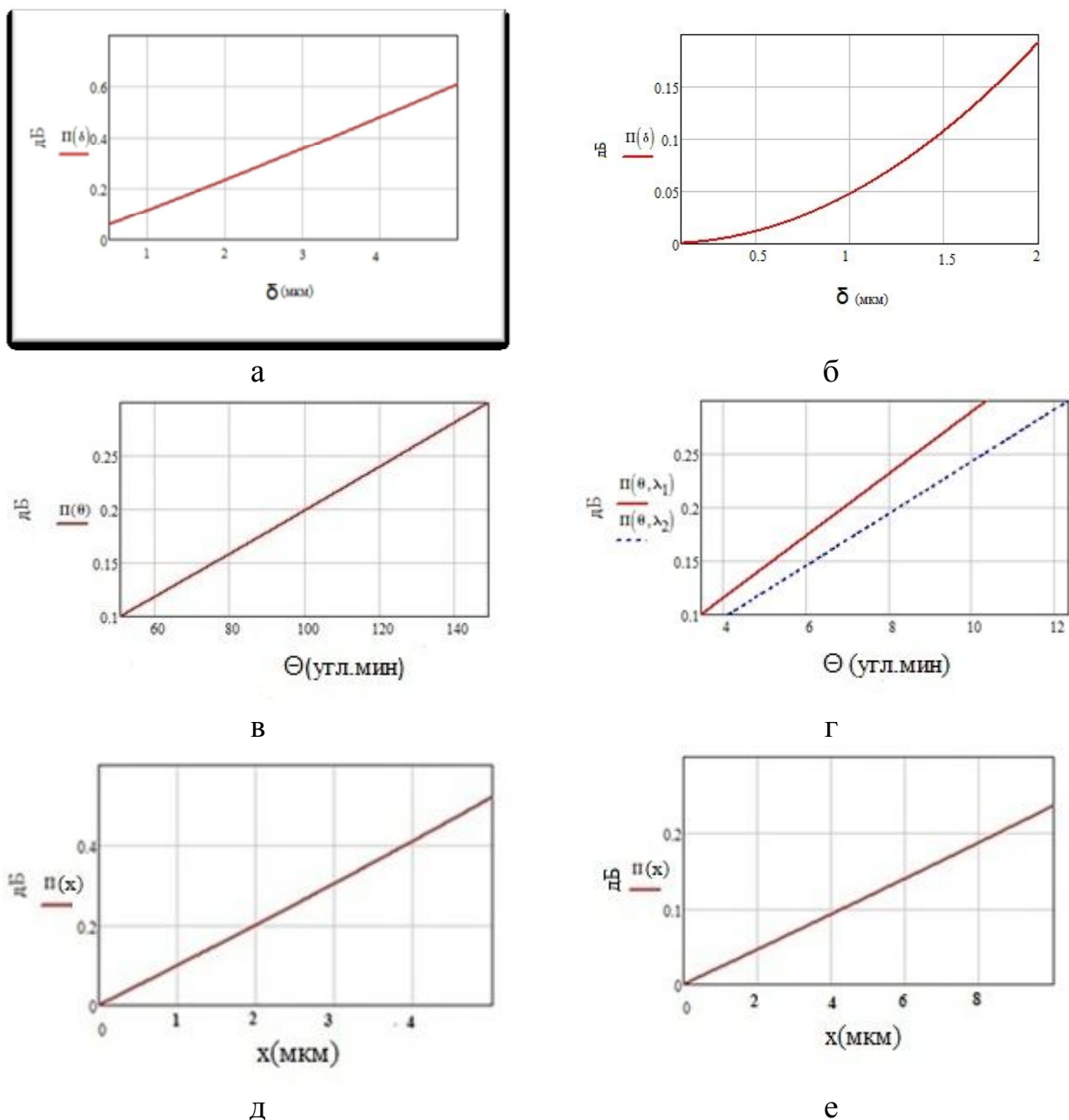


Рис. 1. Затухание излучения в конекторах: а, б – влияние поперечной децентрировки при соединении многомодовых и одномодовых световодов; в, г – влияние угловой децентрировки при соединении многомодовых и одномодовых световодов; д, е – влияние осевого зазора при соединении многомодовых и одномодовых световодов.

3. Осевой зазор между световодами в конекторе также приводит к потерям излучения. Для многомодовых световодов при величине потерь  $P(x)=0,2$  дБ этот зазор может составлять  $x=20$  мкм, а для одномодовых световодов при тех же потерях  $x=8$  мкм.

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ влияния шероховатостей торцов соединяемых световодов на величину потерь, а также на оценку влияния клиновидности в соединении световодов в конекторе на потери.

#### **Литература**

1. Иванов А. Б. Волоконная оптика, системы передачи, измерения. – М.: Компания Сайрус системс, 1999. – 375 с.
2. Кучеренко О. К. Влияние параметров световодов на длину регенерационного участка волоконно-оптической линии связи / О. К. Кучеренко, Н. И. Свешникова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2012. – Вип. 43. – С. 30 – 35.
3. Кабыш С. В. Принимаем ВОЛС в эксплуатацию // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 5. – С. 64 – 69.
4. Кучеренко О. К. Конспект лекцій «Волоконна і інтегральна оптика». – Електронне видання. МОНУ НТУУ «КПІ», НМУ № Е11/12–155. – 2012. – 182 с.

*Надійшла до редакції  
02 червня 2015 року*

© Кучеренко О. К., Кучеренко В. А., 2015

УДК 681.7.067

## **РОЗРОБКА ОПТИЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

*Сокуренько В. М., Макаренко Я. І.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна, Університет Мена, Ле Ман, Франція*

*З використанням спеціального програмного забезпечення в автоматизованому режимі було розроблено оптичні системи окуляра і фотооб'єктива. Якість зображення отриманих систем дозволяє їх використовувати з існуючими матричними приймачами випромінювання. Автоматизований розрахунок здійснювався з застосуванням одного з сучасних алгоритмів глобальної оптимізації, а саме адаптивного методу диференційної еволюції Коші. Результати досліджень свідчать про те, що цей алгоритм виявився потужним інструментом, який дозволяє провести автоматизований параметричний синтез довільної оптичної системи. Інтервал часу, витраченого на розробку оптичної системи з кількістю пошукових параметрів біля 30, не перевищує декількох годин. Ефективність синтезу значною мірою залежить від формування оціночної функції і встановлення раціональних обмежень на конструктивні параметри на стадії введення вихідних даних.*

**Ключові слова:** *окуляр, об'єктив, оптична система, автоматизований розрахунок, глобальна оптимізація.*

#### **Вступ**

Проблема оптимізації, тобто пошук найкращого розв'язку проблеми, зазвичай виникає під час огляду найрізноманітніших задач. Оскільки комп'ютери на