



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики**

Бурдин В. А., Никулина Е. Г., Дашков М. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

**Методические указания
по выполнению лабораторной работы**

Самара - 2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.А. БУРДИН, Т.Г. НИКУЛИНА, М.В. ДАШКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Самара
2016

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол
№ 11 от 24.11.2016 г.

Рецензент:
доцент, кафедры систем связи ФГБОУ ВО ПГУТИ,
к.т.н., Трошин А.В.

Бурдин, В.А., Никулина, Т.Г., Дашков, М.В.

Исследование составляющих потерь оптических соединителей: методические указания по выполнению лабораторной работы/ В.А. Бурдин, Т.Г. Никулина, М.В. Дашков. – Самара: ПГУТИ, 2016. –13 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный факторам потерь и методам измерения внесимого затухания оптических соединителей.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Бурдин В.А., 2016
© Никулина Т.Г., 2016
© Дашков М.В., 2016

Цель работы: исследование составляющих потерь соединителей оптических волокон (ОВ) и приобретение практических навыков их измерения.

Литература

1. Технологии строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна. [Текст]: учебное пособие / В. А. Андреев [и др.]; ред. В. А. Андреева; ПГУТИ. - Самара: СРТТЦ ПГУТИ, 2014. - 410 с.
2. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под. Ред. В.А. Андреева. – М.: Горячая линия -Телеком, 2011. – 424 с.
3. Андреев В.А., Андреев Р.В. и др. Технология строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна. – Самара: «СРТТЦ ПГУТИ», 2011. – 370 с.
4. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
5. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи – М.: Эко-Трендз, 2002. – 238 с.
6. Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы. Сборник статей под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: Connect, 2000 – 376 с.

Контрольные вопросы

1. Назначение, конструкции и область применения оптических соединителей
2. Классификация оптических соединителей
3. Составляющие потерь оптического излучения на соединениях оптических волокон.
4. Дайте определения осевого рассогласования, радиального рассогласования и углового рассогласования.
5. Какова зависимость приращения затухания соединения волокон от осевого рассогласования? Радиального рассогласования? Углового рассогласования?
6. Какими параметрами характеризуют качество обработки торцов сращиваемых волокон?
7. Каковы составляющие потерь разъемных оптических соединителей?
8. Каковы составляющие потерь неразъемных оптических соединителей?
9. Перечислите и дайте определения параметров оптических соединителей (разъемных и неразъемных)
10. Типичные характеристики стандартных разъемных оптических соединителей. Неразъемных оптических соединителей. Нормативные характеристики.

Техника безопасности при работе с использованием когерентных лазерных источников излучения

При выполнении лабораторных работ, связанных с использованием когерентных лазерных источников излучения, необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не смотреть в выходной порт источника и на торцы коннекторов патч-кордов или оптических адаптеров.
2. Контроль качества оптического коннектора или адаптера допускается только при отсутствии в волокне излучения.
3. Для определения активности оптического волокна рекомендуется использовать измеритель оптической мощности или специальный индикатор излучения.

Внимание! Излучение, используемое в телекоммуникационных системных и измерительных приборах, невозможно обнаружить визуально.



Техника безопасности при работе с оптическим волокном

1. На рабочем столе должны находиться только те инструменты и материалы, которые необходимы для выполнения работы. Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо убрать со стола все личные вещи (сумки, тетради и т.д.).
2. Перед началом работы с ОВ необходимо изучить методику выполнения скола ОВ.
3. Все работы с ОВ выполнять над рабочим столом.
4. Осколки ОВ утилизировать в специальные контейнеры, выданные лаборантом.
5. В случае если осколок ОВ упал за пределы контейнера (например, на поверхность стола) необходимо удалить его при помощи ленты 88Т, липкой ленты или пинцета. Лента после этого также утилизируется в контейнер. Не допускается убирать упавший осколок ОВ голыми руками.
6. В процессе выполнения лабораторной работы запрещается тереть глаза руками.
7. В случае попадания ОВ под кожу немедленно сообщить об этом преподавателю. Не допускается самостоятельное удаление волокна.
8. После окончания выполнения лабораторной работы внимательно осмотреть одежду и рабочее место на предмет наличия осколков ОВ. При необходимости удалить осколки волокна при помощи ленты 88Т, липкой ленты или пинцета.
9. Вымыть руки с мылом для удаления возможных незамеченных осколков ОВ с рук.

Материалы и инструменты для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Стриппер Miller



4. Ручка-скальватель



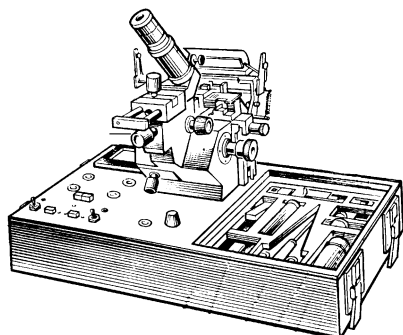
5. Источник оптического излучения FOD 2112



6. Измеритель оптической мощности FOD 1024



7. Сварочный аппарат КСС-111



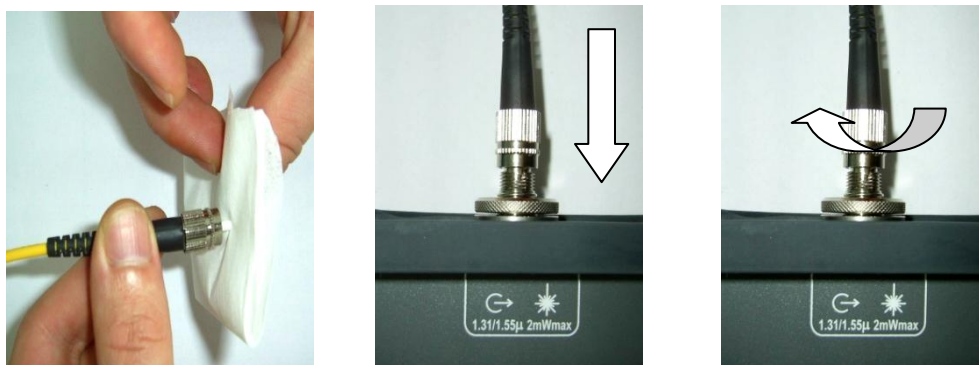
8. Оконцованные пигтэйлом катушки с ОВ



Порядок выполнения работы

1. Соберите схему измерений составляющих потерь оптических соединителей (рис.1).

1.1. При подключении катушки с ОВ к источнику оптического излучения и к измерителю оптической мощности предварительно протрите оптический коннектор пигтэйла безворсовой салфеткой, смоченной небольшим количеством изопропилового спирта.



1.2. Для подключения разъема типа FC/PC совместите ключ на коннекторе с пазом на оптическом адаптере, зафиксируйте круглой накладной гайкой. **Не прикладывайте чрезмерных усилий!**

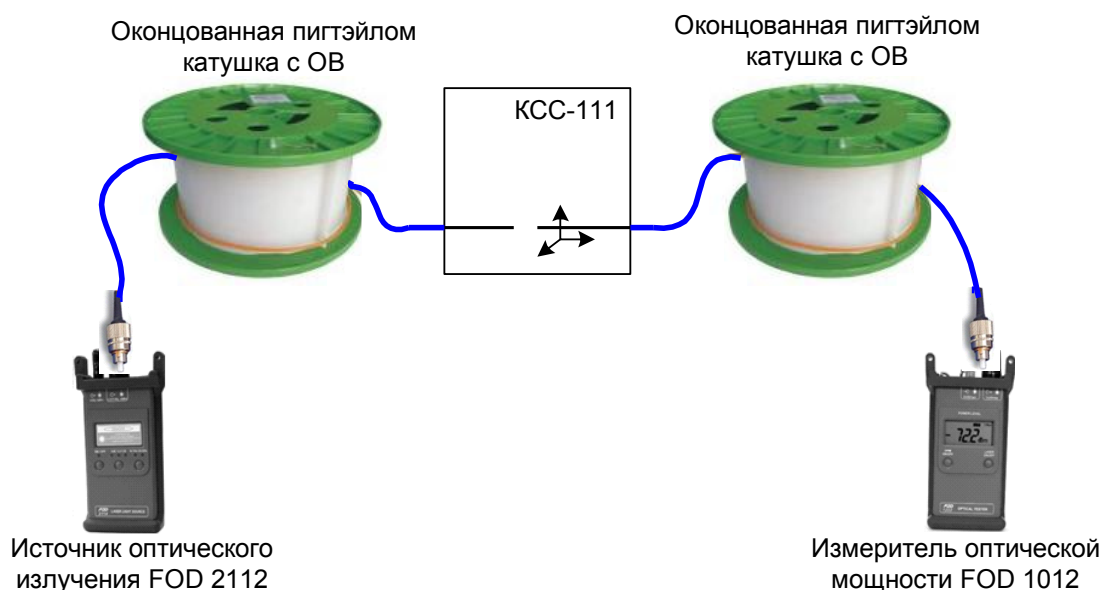


Рис. 1. Схема измерения составляющих потерь оптических соединителей

2. Выполните юстировку ОВ при помощи ручек юстировки сварочного аппарата KCC-111: микрометрического винта, верхнего и нижнего юстировочных винтов, каретки микроскопа (рис. 2).

2.1. Наблюдая волокна в микроскоп, разведите их с помощью микрометрического винта (рис. 2) на расстояние равное примерно $1/4$ диаметра волокна.

2.2. Передвинув каретку микроскопа на себя и вращая нижний юстировочный винт, выполните юстировку волокна в горизонтальной плоскости.

2.3. Передвинув каретку микроскопа от себя и вращая верхний юстировочный винт, выполните юстировку волокна в вертикальной плоскости.

2.4. Повторите операции, контролируя качество юстировки визуально.

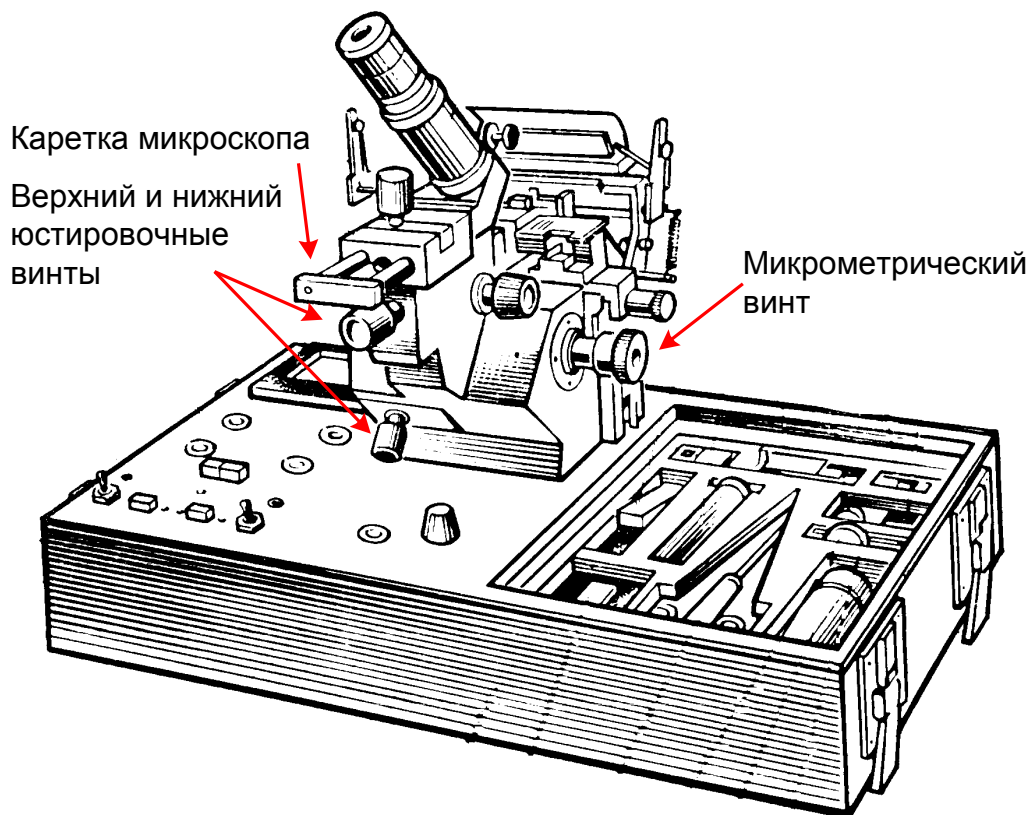


Рис. 2. Ручки юстировки сварочного аппарата КСС-111

3. Выполните измерения максимального уровня мощности P_{\max} для случая, когда ОВ отъюстированы и вплотную придвинуты друг к другу (отсутствует рассогласование) на двух длинах волн: 1550 нм и 1310 нм. **Внимание! В процессе измерений не допускается смотреть в микроскоп сварочного аппарата при включенном источнике излучения!**

3.1. Включите источник излучения и выберите требуемую длину волны излучения (1550 нм или 1310 нм).

3.2. Включите измеритель оптической мощности и выберите ту же длину волны (1550 нм или 1310 нм) нажатием на клавишу SET λ .

3.3. Прогрейте источник и приемник излучения в течение 5-10 мин.

3.4. Сдвигая волокна с помощью микрометрического винта, добейтесь максимальных показаний измерителя оптической мощности.

3.4. Запишите показание на дисплее измерителя оптической мощности (p_{\max} , дБ).

4. Выполните измерения потерь от величины осевого рассогласования.

4.1. Раздвигая волокна микрометрическим винтом, снимайте одновременно показания уровня мощности p_i , дБ с дисплея измерителя оптической мощности и соответствующее ему значение осевого рассогласования z_i , мкм. Значение осевого рассогласования z_i определяется по шкале микрометрического винта путем отсчета числа делений от точки соответствующей максимальному значению.

4.2. Рассчитайте величину потерь за счет осевого рассогласования по формуле: $A_z = p_{\max} - p_i$, дБ (1).

4.3. Выполнить расчет теоретического значения потерь из-за осевого рассогласования по формуле (2) приложения.

4.4. Рассчитать значения относительной величины осевого рассогласования по формуле: $\delta_z = z_i / a$, где a - диаметр сердцевины ОВ.

4.5. Результаты измерений и расчетов занесите в табл.1.

Табл.1. Исследование потерь от величины осевого рассогласования

Величина осевого рассогласования z_i , мкм	Относительная величина осевого рассогласования δ_z	Значение максимального уровня мощности p_{\max} , дБ	Значение уровня мощности при осевом рассогласовании p_i , дБ	Потери за счет осевого рассогласования A_z , дБ	
				эксперимент	расчет

4.6. Построить теоретический и экспериментальный графики зависимости потерь за счет осевого рассогласования от относительной величины рассогласования δ .

5. Выполните повторную юстировку ОВ и измерение максимального уровня мощности p_{\max} согласно п. 2 - 3.

6. Выполните измерения потерь от величины углового рассогласования.

6.1. Сдвигая волокна микрометрическим винтом, снимайте одновременно показания уровня мощности p_i , дБ с дисплея измерителя оптической

ской мощности и соответствующее ему значение осевого рассогласования Δ_i , мкм.

6.2. Рассчитайте величину потерь за счет углового рассогласования по формуле (1).

6.3. Рассчитайте значение углов рассогласования по формуле:

$$\Theta = \arcsin(z/L),$$

где $L = 7$ мкм.

6.4. Выполните расчет теоретического значения потерь из-за углового рассогласования по формуле (3) приложения.

6.6. Результаты измерений и расчетов занесите в табл.2.

6.7. Построить теоретический и экспериментальный графики зависимости потерь за счет углового рассогласования от величины рассогласования Θ .

Табл.2

Исследование потерь от величины углового рассогласования

Величина осевого рассогласования Θ_i , мкм	Значение максимального уровня мощности p_{max} , дБ	Значение уровня мощности при осевом рассогласовании p_i , дБ	Потери за счет углового рассогласования A_Θ , дБ	
			эксперимент	расчет

7. Выполните повторную юстировку ОВ согласно п.2.

8. Выполните измерения потерь от величины радиального рассогласования.

8.1. Раздвинуть волокна на расстояние равное 1/4 диаметра волокна. Записать показания уровня мощности p_0 , дБ с дисплея измерителя оптической мощности.

8.2. Передвинуть каретку микроскопа на себя.

8.3. Вращая нижний юстировочный винт и последовательно устанавливая радиальное смещение равным $\delta' = 1/4; 1/2; 3/4$ и 1,0 долям диаметра волокна, снять показания уровня мощности p_i , дБ с дисплея измерителя оптической мощности.

8.4. Рассчитайте величину потерь за счет радиального рассогласования по формуле (1).

8.5. Рассчитайте значения радиального рассогласования по формуле: $r = 125 \cdot \delta'$ мкм, где 125 мкм- диаметр ОВ по оболочке.

8.6. Выполните расчет теоретического значения потерь из-за радиального рассогласования по формуле (3) приложения.

8.7. Результаты измерений и расчетов занесите в табл.3.

8.8. Построить теоретический и экспериментальный графики зависимости потерь за счет радиального рассогласования от относительной величины рассогласования $\delta_r = r/a$.

Табл.3

Исследование потерь от величины радиального рассогласования

Относительная величина радиального рассогласования δ'	Значение радиального рассогласования r , мкм	Значение уровня мощности p_0 , дБ	Значение уровня мощности при осевом рассогласовании p_i , дБ	Потери за счет радиального рассогласования A_r , дБ	
				эксперимент	расчет
1/4					
1/2					
3/4					
1					

9. Сопоставить теоретические и экспериментальные зависимости потерь соединения волокон от степени рассогласования: осевого, углового и радиального. Сделать выводы по работе.

Приложение

Одним из основных видов соединений оптических волокон является механическое разъемное соединение. Отличительной особенностью этого соединения является возможность его многократного использования без ухудшения оптических параметров линии.

Основными элементами соединения являются оптические разъемы (коннекторы (рис.3)) с закрепленными в них оптическими волокнами и розетки (адаптеры), осуществляющие стыковку разъемов (рис. 4). В настоящее время существует широкий ассортимент различных типов оптических разъемов и адаптеров (рис.3-4).

Основные требования к оптическим разъемам:

- малые вносимые потери;
- малое обратное отражение;
- устойчивость к механическим, климатическим воздействиям;
- простота конструкции;
- повторяемость оптических параметров при многократной коммутации.

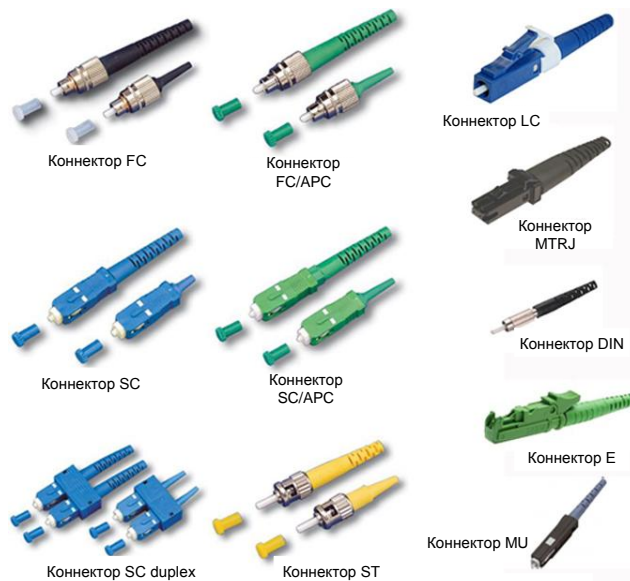


Рис.3. Оптические разъемы (коннекторы)



Рис.4. Оптические розетки (адаптеры)

Основным показателем качества оптического коннектора является величина вносимых потерь: $a = -10 \lg(P_{\text{вх}} / P_{\text{вх}})$, дБ. Здесь $P_{\text{вх}}$ - мощность оптического излучения на входе соединителя; $P_{\text{вх}}$ - мощность оптического излучения на выходе соединителя.

Оптические потери в коннекторном соединении (сборке) могут быть вызваны целым рядом причин, условно разделяемых на две группы:

- вносимые потери;
- повторяемость оптических параметров при многократной коммутации.

К оптическим потерям соединителя, определяемыми внешними причинами относятся:

- потери за счет осевого рассогласования;
- потери за счет углового рассогласования;
- потери за счет радиального рассогласования;
- потери за счет за счет френелевского отражения из-за наличия микротрещин при плохой полировке торцов наконечников.

Потери за счет *осевого рассогласования* зависят от величины осевого смещения ОВ, радиуса поля моды ОВ, показателей преломления сердцевины волокна внешней среды и рассчитываются по формуле:

$$A_z = -10 \lg \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{z\lambda}{2\pi n_0 \omega_1} \right)^2} \left(\frac{16n_1^2 n_0^2}{(n_1 + n_0)^4} \right) \right), \text{ дБ} \quad (2)$$

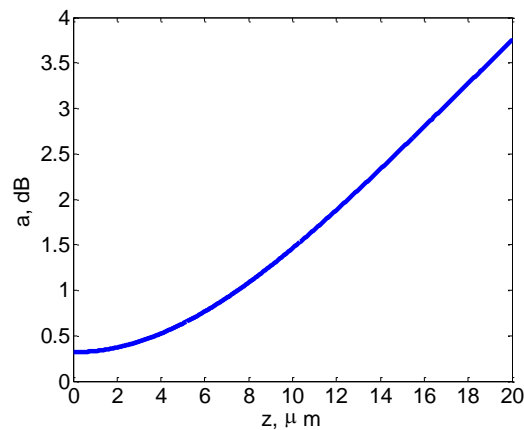
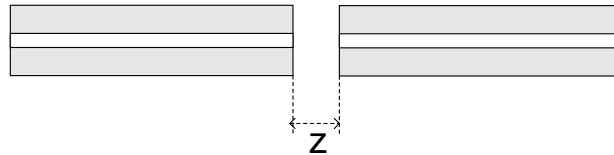
где z - осевое рассогласование, мкм;

ω_1 - радиус поля моды ОВ, мкм (принимать равным 4,6 мкм на длине волны 1310 нм и 5,2 на длине волны 1550 нм);

n_1 - показатель преломления среды между волокнами в соединении (для воздуха равен 1);

λ - длина волны источника излучения, мкм.

n_0 - показатель преломления сердцевины ОВ (принимается равным 1,4672 на длине волны 1550 нм и 1,4677 на длине волны 1310 нм);

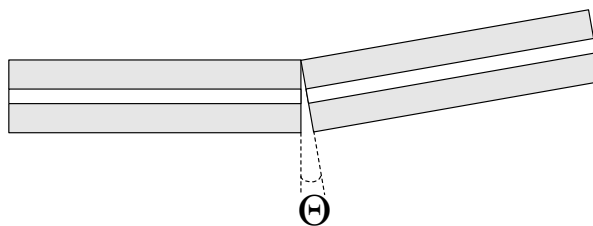


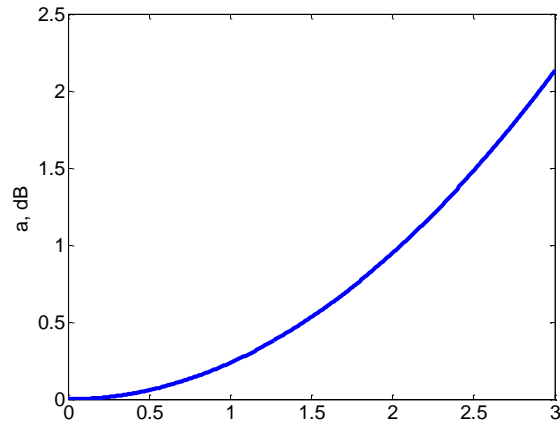
Потери за счет *углового рассогласования* зависят от величины угла рассогласования, диаметра поля моды, показателя преломления среды и рассчитываются по формуле:

$$A_\theta = -10 \log \left(\exp \left(- \left(\frac{\pi \Theta n_0 \omega_0}{\lambda} \right)^2 \right) \right), \text{ дБ, (3)}$$

где Θ - угол рассогласования в радианах;

ω_0 - диаметр поля моды (принимать равным 9,2 мкм на длине волны 1310 нм и 10,4 мкм на длине волны 1550 нм).





Потери за счет *радиального рассогласования* зависят от величины радиального рассогласования и диаметра сердцевины ОВ и рассчитываются по формуле:

$$A_r = -10 \log \left(\exp \left(- \left(\frac{r}{\omega_0} \right)^2 \right) \right), \text{ дБ}, \quad (4)$$

где r - радиальное рассогласование, мкм.

