

Федеральное агентство связи РФ
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
«Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

Кафедра «Линии связи и измерения в технике связи»

Методическая разработка
к лабораторной работе
**«Исследование апертуры
оптических волокон»**

Составители: д.т.н., проф. Бурдин В.А.
к.т.н., проф. Воронков А.А.,
к.т.н., доц. Никулина Т.Г.

Рецензент: к.т.н., доц. Трошин А.В.

Самара
2012

ББК 621.391.63

Д 21

Исследование апертуры оптических волокон: учебно-методическая разработка / А.А. Воронков, В.А. Бурдин, Т.Г. Никулина. Самара: ИНУЛ ПГУТИ. 2012 – 13 с.

Рецензент: к.т.н. А.В. Трошин

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал по методу и средствам измерения апертуры оптических волокон.

*Рекомендовано Методическим советом
ФГОБУ ВПО ПГУТИ в качестве учебно-
методического пособия для бакалавров и
магистров, обучающихся по направлениям
200600, 210400, 210401, 210404, 210406,
200700м*

*Протокол заседания Методического совета ПГУТИ
№ 20 от 15.01.2012 г.*

Цель работы

Практическое ознакомление с апертурными свойствами оптических волокон (ОВ) и приобретение навыков измерения числовой апертуры.

Литература

1. 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.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
3. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи – М.: Эко-Трендз, 2002. – 238 с.
4. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
5. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи – М.: Лесар-арт, 2003. – 288 с.
6. Андреев В.А., Бурдин А.В. Многомодовые оптические волокна. Теория и приложения на высокоскоростных сетях связи. – М.: «Радио и связь», 2004. – 248 с.
7. Андреев В.А., Андреев Р.В. и др. Технология строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна. – Самара: «СРТТЦ ПГУТИ», 2011. – 370 с.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Изучить теоретический материал по апертурным свойствам ОВ, изложенный в рекомендуемой литературе.
3. Изучить порядок выполнения лабораторной работы.
4. Подготовить бланки протоколов измерений.

Контрольные вопросы

1. Определение угла полного внутреннего отражения световой энергии. Расчетные соотношения.

2. Определение апертурного угла.
3. Числовая апертура оптического волокна. Определение, свойства, расчетные соотношения.
4. Классификация оптических волокон по величине числовой апертуры.
5. Числовая апертура типовых одномодовых и многомодовых волокон.
6. Взаимосвязь числовой апертуры и нормированной частоты оптического волокна.
7. Зависимость потерь при вводе световой энергии в оптическое волокно от значения числовой апертуры.

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 изучить методику выполнения скола.
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 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 или пинцета.

9. Вымыть руки с мылом для удаления возможных незамеченных осколков ОВ с рук.

Материалы, инструменты и оборудование для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Стриппер Miller



4. Ручка-скалыватель



5. Источник светового потока



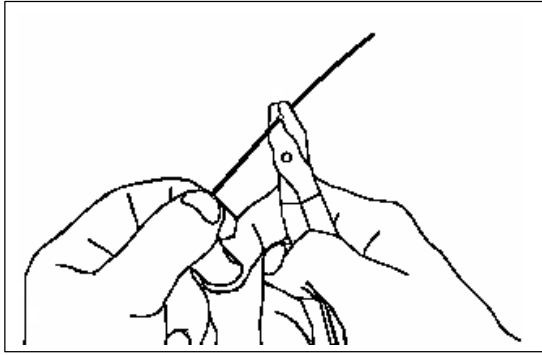
6. Оптический микроскоп



Порядок выполнения работы

1. Подготовить к измерению образцы многомодового и одномодового оптических волокон. Для этого выполнить качественные сколы торцов волокон.

1.1. Уложите волокно в зазор между лезвиями стриппера.



1.2. Установите стриппер под углом около 45 градусов к поверхности волокна так, чтобы при этом, закрыв инструмент, не изогнуть волокно.

1.2. Закройте стриппер, аккуратно сжимая ручки инструмента.

Примечание.

Усилие, с которым нужно сжимать ручки стриппера, должно быть достаточно большим, чтобы удалить покрытие полностью, но при этом не превышать степени, при которой волокно может быть повреждено или сломано. Чтобы почувствовать необходимые для данного конкретного волокна усилие сжатия и угол наклона стриппера сделайте несколько пробных попыток, удаляя покрытие с конца волокна на длине 3 – 6 мм.

1.3. Медленно и плавно тяните стриппер прямо вдоль волокна к его концу, пока покрытие не будет удалено. Не допускайте при этом изгибов волокна. Сжимайте ручки стриппера с постоянным усилием в течение всей процедуры удаления покрытия.

1.4. Тщательно протрите волокно смоченной спиртом безворсовой салфеткой в трех плоскостях, поворачивая волокно.



1.5. Возьмите волокно, зажав его между большим и указательным пальцем, не допуская его изгиба.

1.6. Легким касанием сделайте насечку на поверхности ОВ, располагая лезвие скальпеля перпендикулярно оси волокна. Не допускайте чрезмерного давления на волокно!

1.7. Отложите инструмент и не отпуская волокно свободной рукой слегка изогните волокно в зоне, где была нанесена насечка и потяните волокно.

1.8. Если скол не удался, обломите волокно и повторите операции по подготовке волокна на новом участке. Произведите скол на новом участке.

2. Выполните измерение апертуры многомодового и одномодового оптических волокон.

2.1. Соберите схему измерения апертуры оптического волокна (рис. 1).

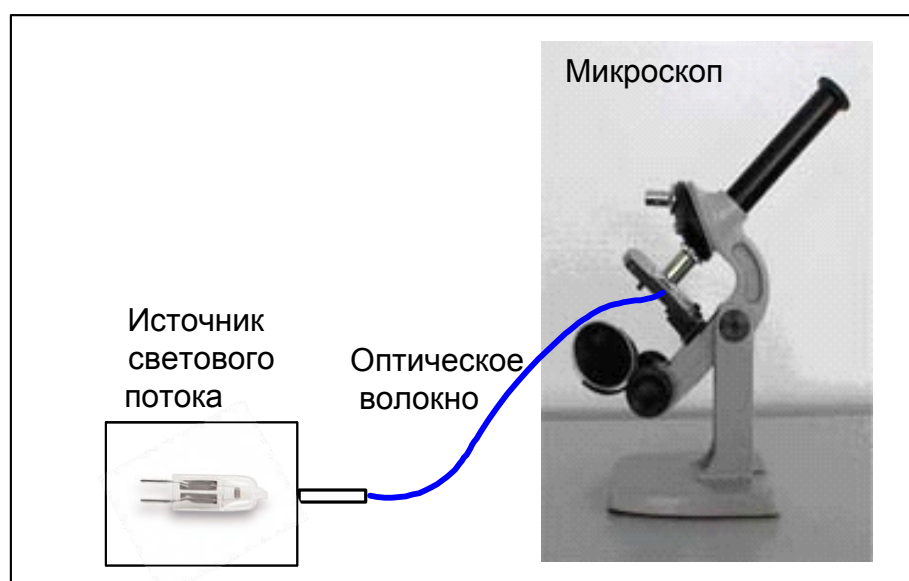


Рис.1. Схема измерения апертуры оптического волокна

2.2. Включите питание источника светового потока.

2.3. Ручкой перемещения подставки микроскопа установите ее в такое положение, чтобы торец оптического волокна упирался в экран, расположенный на окуляре.

2.4. Перемещая подставку вниз до получения четкого изображения светового пятна на экране, измерьте расстояние L по шкале перемещения подставки микроскопа, соответствующее смещению подставки до получения резкого изображения. Измерьте по рискам на экране микроскопа диаметр D светового пятна.

2.5. Определите числовую апертуру образца, пользуясь соотношением: $NA = 0,5D / \sqrt{(0,5D)^2 + L^2}$ (1),

где NA – числовая апертура оптического волокна; D - диаметр изображения светового пятна, мм; L - расстояние смещения подставки микроскопа, мм.

2.6. Произведите повторно пять измерений апертуры, выполняя каждый раз новый скол волокна со стороны микроскопа на длине 1...3 см.

2.7. Вычислите среднее значение апертуры многомодового и одномодового оптического волокон по формуле (1) и заполните табл. 1.

Табл.1. Результаты измерений

№ измерения	Значение					
	Многомодовое ОВ			Одномодовое ОВ		
	L , мм	D , мм	NA	L , мм	D , мм	NA
1						
2						
3						
4						
5						
Среднее значение						

3. Сделайте выводы, дать классификацию ОВ по величине числовой апертуры. Вычислите величину апертурного угла по формуле: $\theta = \arcsin(NA)$.

Содержание отчета

Цель работы, схема измерения числовой апертуры оптического волокна, заполненная табл. 1, выводы по работе.

Приложение

Рассмотрим модель распространения луча света на границе раздела двух оптических сред с показателями преломления n_1 и n_2 , причем $n_1 > n_2$. Лучевая картина на границе раздела оптических сред представлена на рис. 2.

Падающий луч, который имеет угол падения φ_1 испытывает отражение под углом φ_1' и преломление под углом φ_2 . При этом, в случае когда $n_1 > n_2$, угол падения φ_1 и отражения φ_2 связаны между собой соотношением, известным как закон Снеллиуса:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Среда с большим значением показателя преломления обычно называется оптически более плотной средой, и наоборот. Если увеличивать угол падения, то будет увеличиваться и угол преломления и можно достичь момента, когда преломленный луч начнет скользить вдоль границы раздела двух сред без перехода в оптически менее плотную среду. Угол падения, при котором наблюдается такой эффект, называется предельным углом полного внутреннего отражения (рис. 3). При этом, для всех углов падения больших предельного, имеет место только отражение, преломленная волна отсутствует. Это явление называется полным внутренним отражением. В этом случае угол отражения $\varphi_2 = 90^\circ$ и $\sin 90^\circ = 1$. Отсюда получаем соотношение для угла полного внутреннего отражения: $\varphi_{кр} = \arcsin(n_2 / n_1)$.

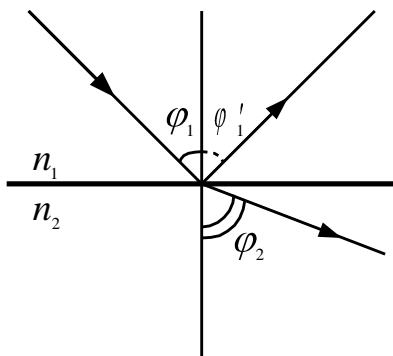


Рис.2. Преломление луча на границе раздела двух сред

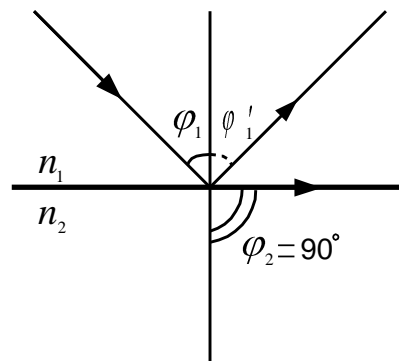


Рис.3. Полное внутреннее отражение

Для осуществления возможности реализации полного внутреннего отражения в ступенчатом волокне, необходимо выполнение следующих условий:

1) Длина волны излучения должна быть меньше диаметра сердцевины ОВ.

2) Показатель преломления сердцевины ОВ должен быть больше показателя преломления оболочки $n_1 > n_2$.

Пусть луч 1 входит в сердцевину ОВ, пересекая его ось под углом θ_A , таким, что его угол падения на границу раздела сердцевина-оболочка равен предельному углу полного внутреннего отражения $\varphi_{кр}$. Угол θ_A принято называть апертурным углом.

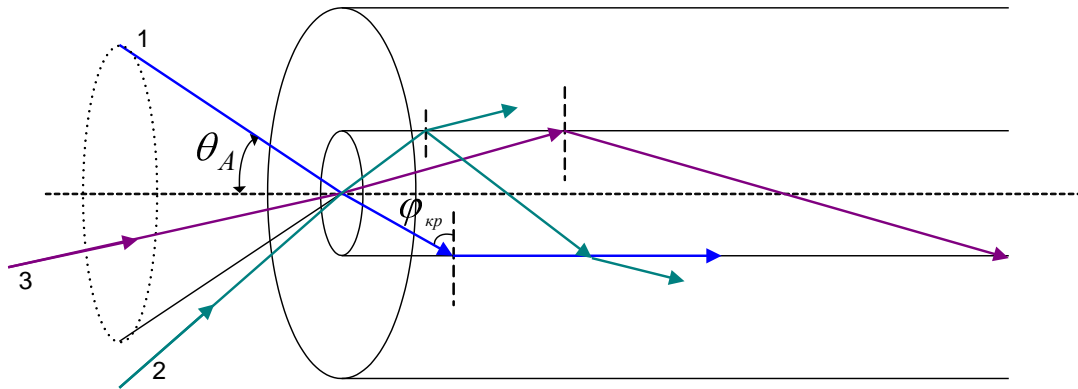


Рис. 4. Связь апертурного угла с углом полного внутреннего отражения

Для всех лучей пересекающих ось ОВ под углом больше апертуры (луч 2), угол падения на границу раздела сердцевина – оболочка меньше предельного и условия полного внутреннего отражения не выполняются. Наоборот, для всех лучей, пересекающих ось ОВ под углом больше апертурного, угол падения на границу раздела сердцевина – оболочка превышает предельный и условия полного внутреннего отражения выполняются. Если условия полного внутреннего отражения не выполняются (луч 2), то каждый раз при падении луча на границу раздела двух сред имеет место преломление и часто переносимой энергии оптического излучения уходит в оболочку. Как следствие - энергия достаточно быстро затухает. Поэтому такие лучи не мо-

гут распространяться в ОВ. И наоборот, лучи, для которых условия полного внутреннего отражения выполняются (луч 3), могут распространяться в сердцевине ОВ на большие расстояния. При вращении вокруг оси ОВ луча, пересекающего ее под апертурным углом, образуется конус.

Очевидно, что все лежащие внутри этого конуса и пересекающие ось ОВ лучи могут распространяться в ОВ, а лучи вне этого конуса – нет. Апертурный угол характеризует условия ввода и распространения оптического излучения в ОВ. Поскольку оперировать со значением угла в градусах несколько неудобно, было введено понятие числовой апертуры, равной синусу апертурного угла умноженного на показатель преломления среды из которой излучение вводится в ОВ:

$$NA = n_0 \sin \theta_A = n_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где n_0 - показатель преломления среды, из которой оптическое излучение вводится в ОВ.

Внешней средой, как правило, является воздух, показатель преломления которого равен $n_0 = 1$. Волокна, имеющие числовую апертуру не более 0,2, называются низко апертурными волокнами. Волокна, имеющие апертуру более 0,2 называются высоко апертурными волокнами. Чем больше числовая апертура, тем больше уширение импульсов из-за модовой дисперсии. С ростом апертуры уменьшаются потери энергии на вводе в волокно при использовании источников излучения с широкой диаграммой направленности излучения, поэтому высоко апертурные волокна обеспечивают сравнительно низкие потери на вводе и сравнительно-мало чувствительны к изгибам. Однако они имеют сравнительно низкую пропускную способность за счет большой межмодовой дисперсии. Поэтому высоко апертурные волокна применяются для передачи сигналов на небольшие расстояния, в основном при внутриобъектовой связи. В оптических кабелях, предназначенных для применения на сетях связи, используются низко апертурные волокна.

Ниже в табл. 2 приведены значения числовой апертуры для различных типов ОВ.

Табл.2. Числовая апертура различных типов ОВ

Тип ОВ	Числовая апертура (NA)	Примечание
SMF-28e+	0,14	1310 нм
Corning InfiniCor 62.5	0,275	-
Corning LEAF	0,14	1550

Исследование апертуры оптических волокон

**Бурдин Владимир Александрович
Воронков Андрей Андреевич
Никулина Татьяна Геннадьевна**