МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра оптоэлектроники**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В СЕТЯХ FTTH**

Работу выполнил\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Головачев Евгений Дмитриевич

Курс 3

Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Научный руководитель

Доцент кафедры оптоэлектроники \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дорош Виктор Саввич

Нормоконтролер инженер\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. А. Прохорова

Краснодар 2017

**Реферат**

Курсовой проект 35 с., 5 рис., 4 табл., 10 источников.

Применения оптических волокон, одномодовые и многомодовые волокна, ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА G.651, G.652 И G.657, СЕТЬ FTTH, потери и скорость передачи

Целью данного курсового проекта является изучение применения оптических волокон в сетях FTTH и в частности изучение свойств и характеристик оптических волокон, потерь и скорости передачи в них, а также соединений оптических волокон.

В результате выполнения курсового проекта были изучены основные виды оптических волокон и их применение.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначения и сокращения……………………………………………. | 5 |
| Введение……………………………………………………………….... | 6 |
| 1 Свойства и характеристики оптических волокон…………………... | 7 |
| 1.1 [Характеристики и типы оптических волокон](http://www.teralink.ru/?do=stech1&id=66)…………………… | 7 |
| 1.2 Стандарты оптических волокон………………………………… | 7 |
| 1.3 Градиентное многомодовое волокно……………………………. | 10 |
| 1.4 Типы одномодового волокна…………………………………….. | 11 |
| 2 Обзор свойств, характеристик и возможностей оптических волокон G.651, G.652 и G.657…………..……………………………… | 13 |
| 2.1 Типы и стандарты оптических волокон………………………… | 13 |
| 2.2 Оптическое волокно G.651……………………………………… | 14 |
| 2.3 Оптическое волокно G.652……………………………………… | 14 |
| 2.4 Оптическое волокно G.657……………………………………… | 15 |
| 3 Анализ возможностей оптических волокон в сетях FTTH по скорости передачи информации……………………………………….. | 16 |
| 4 Рассмотрение особенностей оптических волокон G.657 различных модификаций………………………………………………………........ | 18 |
| 5 Потери и скорость передачи в оптических волокнах……………….. | 21 |
| 5.1 Затухание………………………………………………………….. | 21 |
| 5.2 Дисперсия…………………………………………………………. | 22 |
| 5.3 Пропускная способность…………………………………………. | 24 |
| 6 Измерение потерь на изгибах и на соединениях в различных оптических волокнах…………………………………………………… | 25 |
| 7 Соединения оптических волокон……………………………………. | 26 |
| 7.1 Подготовка волокон……………………………………………… | 26 |
| 7.2 Сращивание……………………………………………………….. | 27 |
| 7.3 Коннекторы……………………………………………………….. | 32 |
| Заключение……………………………………………………………... | 34 |
| Список использованных источников………………………………….. | 35 |

**Обозначения и сокращения**

|  |  |
| --- | --- |
| NTT | Nippon Telephone and Telegraph |
| NEC | Nippon Electric Corporation |
| SC | Subscriber connector |
| SMA | Sub-Miniaturetype A |
| FTTH | Fiber to the home |
| ITU | International Telecommunication Union |
| МСЭ | Международным союзом электросвязи |
| ANSI | Американский национальный институт стандартов |
| MMF | Многомодовые волокна |
| SMF | Одномодовые волокна |
| SF | Стандартные волокна |
| DSF | Волокна со смещенной дисперсией |
| NZDSF | Волокна с ненулевой смещенной дисперсией |
| ВОЛС | Волоконно-оптические линии связи |
| EDFA | Эрбиевые усилители на основе легированного эрбием волокна |
| DCF | Компенсирующая дисперсия |
| СИД | Светодиод |
| УМ | Усиление мощности |
| ПУ | Приемное усиление |
| КД | Компенсация дисперсии |
| ЛУ | Линейное усиление |

**Введение**

Оптические волокна в настоящее время находят широкое применение во всевозможных областях, таких как системы охраны, волоконные лазеры и усилители, измерительные устройства, оптические жгуты для передачи изображений, световоды в медицинских целях и так далее.

Самое яркое применение оптические волокна получили в системах связи. Волоконно-оптическая связь это способ передачи информации, который использует в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем — волоконно-оптические кабели. Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям мультиплексирования пропускная способность волоконно-оптических линий сильно превышает пропускную способность всех других систем связи и может измеряться терабитами в секунду. Благодаря малому затуханию света в оптическом волокне, можно применять волоконно-оптическую связь на значительных расстояниях без использования усилителей. Волоконно-оптическая связь свободна от электромагнитных помех и труднодоступна для несанкционированного использования: незаметно перехватить сигнал, передаваемый по оптическому кабелю, технически крайне сложно.

В настоящее время такая архитектура построения сети как FTTH является наиболее актуальной для современных потребностей пользователей. Данную сеть активно внедряют провайдеры третьего уровня на последней миле во многих городах. Что касается оптических волокон, здесь самым актуальным вариантом является волокно рекомендации G.657, работоспособность которого позволяет проектировщикам сетей больше не беспокоиться о потерях на изгибе.

**1 Свойства и характеристики оптических волокон**

**1.1** [**Характеристики и типы оптических волокон**](http://www.teralink.ru/?do=stech1&id=66)

Оптические волокна создаются различными способами, обеспечивают передачу оптического излучения на разных длинах волн, имеют различные характеристики и выполняют разные задачи.

Оптические волокна принято делить на две основные группы: многомодовые (MMF) и одномодовые (SMF).

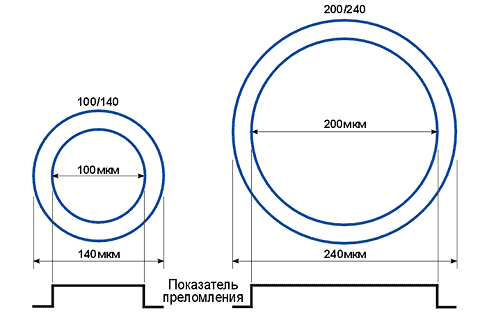
Многомодовые волокна разделяют на ступенчаты и градиентные.

Одномодовые волокна разделяют на ступенчатые одномодовые волокна или стандартные волокна (SF), на волокна со смещенной дисперсией (DSF), и на волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF).

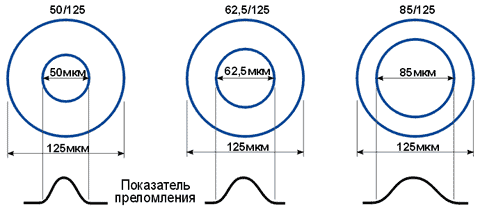
Каждое волокно состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления. Сердцевина, по которой распространяется световой сигнал, изготавливается из оптически более плотного материала. При обозначении волокна указываются через дробь значения диаметров сердцевины и оболочки. Волокна отличаются диаметром сердцевины и оболочки, а также профилем показателя преломления сердцевины. У многомодового градиентного волокна и одномодового волокна со смещенной дисперсией показатель преломления сердцевины зависит от радиуса. Такой более сложный профиль делается для улучшения технических характеристик или для достижения специальных характеристик волокна [1].

**1.2 Стандарты оптических волокон**

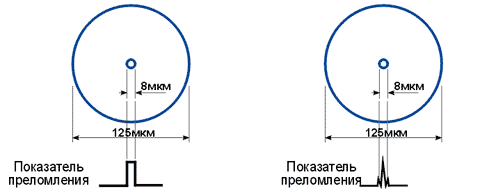
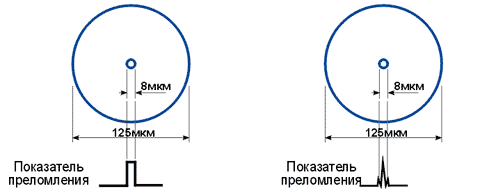
Размеры и типы оптических волокон представлены на рисунке 1. Если сравнивать многомодовые волокна (рисунок 1 а, б), то градиентное волокно имеет лучше технические характеристики, чем ступенчатое, по дисперсии.



а) Ступенчатое многомодовое волокно



б) Градиентное многомодовое волокно



в) Ступенчатое одномодовое волокно

г) Одномодовое волокно со смещенной дисперсией

Рисунок 1 – Размеры и типы оптических волокон

Это связано с тем, что межмодовая дисперсия в градиентном многомодовом волокне (основной источник дисперсии) намного меньше, чем в ступенчатом многомодовом волокне. Именно это и приводит к большей пропускной способности у градиентного волокна. Одномодовое волокно имеет меньший диаметр сердцевины по сравнению с многомодовым и, следовательно, из-за отсутствия межмодовой дисперсии, более высокую пропускную способность. Однако оно требует использования более дорогих лазерных передатчиков.

В ВОЛС используются следующие стандарты волокон (таблица 1):

Таблица 1 – Стандарты оптических волокон

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Многомодовое волокно | | Одномодовое волокно | | |
| MMF 50/125 градиентное волокно | MMF 62,5/125 градиен-тное волокно | SF (NDSF) ступенчатое волокно | DSF волокно со смещенной дисперсией | NZDSF волокно с ненулевой смещенной дисперсией |
| ЛВС (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM) | ЛВС (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM) | Протяжен-ные сети (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM), магистрали SDH) | Сверхпротяженные сети, супермагистрали (SDH, ATM) | Сверхпротяжен-ные сети, супермагистрали (SDH, ATM), полностью оптические сети |

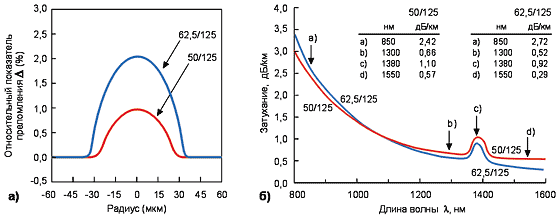
Из огромного множества мировых производителей оптического волокна можно выделить три самых крупных: Corning Optical Fiber, Lucent Technologies и Alcoa Fujikura. Также, в мире существует множество менее крупных производителей волокна. Волокна тестируются не только на этапе производства, но и после изготовления.

**1.3 Градиентное многомодовое волокно**

Из градиентных многомодовых волокон наиболее часто в жизни используют стандарты 62,5/125 и 50/125, которые отличаются профилем сердцевины (рисунок 2 а). На рисунке 2 б указаны спектральные потери для соответствующих волокон.

В волокнах 50/125 и 62,5/125 диаметр светонесущей жилы имеет размер 50 мкм и 62,5 мкм соответственно, что значительно превышает длину волны передачи. Это приводит к распространению различных световых лучей в трех окнах прозрачности. Для передачи света по многомодовому волокну в основном используются окна прозрачности 850 нм и 1310 нм.

Заметим, что полоса пропускания на длине волны 1300 нм больше ее значения на длине волны 850 нм. Это можно объяснить тем, что дисперсия, определяющая полосу пропускания, состоит из межмодовой и хроматической составляющих.

****

б) Кривые спектральных потерь мощности

а) Профили показателей преломления

Рисунок 2 – Градиентные многомодовые волокна

Межмодовая дисперсия не особо зависит от длины волны, зато хроматическая дисперсия пропорциональна ширине спектра излучения. Обычно в виде передатчиков при использовании многомодовых волокон применяются светоизлучающие диоды, имеющие уширения спектральной линии излучения в среднем в 50 нм, в отличии от лазерных диодов с уширением 2 нм и меньше. В связи с этим, хроматическая дисперсия также как и межмодовая начинает играть важную роль на длине волны 850 нм. Также есть способ, позволяющий сильно уменьшить хроматическую дисперсию. Добиться этого можно, используя лазерные передатчики, у которых спектральное уширение намного меньше. Использовать это преимущество можно только в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм, когда межмодовая дисперсия отсутствует.

**1.4 Типы одномодового волокна**

Одномодовые волокна можно разделить на ступенчатое (SF), со смещенной дисперсией (DSF), с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF), а также оптический усилитель на волокне, легированном эрбием(EDFA).

Ступенчатое одномодовое волокно характеризуется тем, что диаметр его светонесущей жилы составляет от 8 до 10 мкм и его можно сравнить с длиной световой волны. В этом волокне распространяется только один луч. Именно это и обеспечивает очень высокую пропускную способность одномодового волокна в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм.

Плюсом одномодового волокна со смещенной дисперсией является то, что длина волны нулевой дисперсии смещена в окно 1550 нм. Достигнуто это смещение было благодаря специальному профилю показателя преломления. В итоге, такое волокно является лучшим как по минимуму дисперсии, так и по минимуму потерь.

Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией в отличие от волокна со смещенной дисперсией настроено для передачи сразу нескольких длин волн. Самым лучшим образом данное волокно можно использовать при построении сетей, на узлах которых не происходит оптоэлектронного преобразования при распространении оптического сигнала.

Оптический усилитель на волокне, легированном эрбием. Передача мультиплексного сигнала на большие расстояния требует использования линейных широкополосных оптических усилителей, из которых набольшее распространение получили так называемые эрбиевые усилители на основе легированного эрбием волокна. Линейные усилители типа EDFA эффективно могут усиливать сигнал в своем рабочем диапазоне от 1530 - 1560 нм [2].

**2 Обзор свойств, характеристик и возможностей оптических волокон G.651, G.652 и G.657**

**2.1 Типы и стандарты оптических волокон**

В самом начале развития оптоволоконных систем было принято считать, что существует и производится два типа стеклянных оптических волокон: одномодовое, предназначающееся для сетей дальней связи, а также многомодовое, созданное для сетей небольшой протяженности. Но вскоре ситуация начала стремительно изменяться, типов волокон стало гораздо больше. В настоящее время существует множество стандартов и рекомендаций, которые довольно сильно разняться по своему предназначению и оптическим характеристикам.

Именно по этой причине было решено классифицировать оптические волокна согласно рекомендациям, установленным «Международным союзом электросвязи» (International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector), которые нашли поддержку во всем мире. Данное подразделение работает над разработкой и созданием именно технических рекомендаций по международным вопросам цифрового сообщения и находит решение проблем, возникающих при строительстве волоконно-оптических линий связи с использованием оптоволокна. Рекомендации МСЭ-Т (ITU-T) являются обобщенным названием документации, определяющей и согласовывающей телекоммуникационные стандарты. Данные нормативы не обязывают к неукоснительному исполнению, но довольно сильно упрощают сетевое взаимодействие и облегчают работу провайдеров. Далее рассмотрим такие стандарты и рекомендации как G.651, G.652 и G.657.

**2.2 Оптическое волокно G.651**

Официально рекомендация ITU-T G.651 была исключена из списка стандартов и вместо нее введена рекомендация ITU-T G.651.1, описывающая многомодовые оптические волокна с градиентным показателем преломления и диаметром светопроводящей сердцевины 50 мкм и оболочки 125 мкм. В данном стандарте определены рекомендации, определяющие параметры многомодовых оптоволокон, их качественные характеристики и возможные отклонения от общих значений. Ранее оптика этого типа применялась для оптических сетей малой протяженности, в пределах одного километра. Сейчас же данный тип волокон используется при построении коротковолновых линий связи в основном внутри зданий и помещений, но крайне редко.

**2.3 Оптическое волокно G.652**

Рекомендация G.652 официально носит название «Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля». Описывает она оптическое волокно, часто называемое как стандартное одномодовое. Волокна этого типа оптимизированы для передачи на длине волны 1310 нм. Данное значение располагает к нулевому лучевому рассеиванию и низкому показателю затухания сигнала. Оптоволокно данной категории очень надежно и способно передавать данные в пределах 50 км. Скорость передачи данных составляет при этом порядка 10 Гбит/с. Данный показатель можно и увеличить, но только с использованием дополнительного оборудования, что повлечет за собой большие материальные расходы.

**2.4 Оптическое волокно G.657**

Официальное название данной рекомендации «Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на макроизгибе, для использования в сетях доступа». Волокна G.657 допускают очень малые радиусы изгибов и оптимально подходят для применения во внутренних помещениях. В остальном, многие характеристики данного волокна аналогичны оптическим волокнам G.652 [3].

**3 Анализ возможностей оптических волокон в сетях FTTH по скорости передачи информации**

FTTH (fiber to the home) – оптическое волокно до квартиры. В квартире устанавливается терминал, а от терминала кабель до компьютера. Данное определение исключает те архитектуры сети, в которых оптическое волокно заканчивается до достижения жилых помещений или офисного пространства и линия продолжается иной физической средой, нежели оптической. Данная архитектура построения сетей является наиболее интересной, стандартизированной и перспективной, так как является наиболее скоростной, а также поддерживает симметричные скорости передачи данных к пользователю и от пользователя. Сеть FTTH хоть и требует более высоких капитальных затрат при строительстве, но зато имеет множество преимуществ перед остальными архитектурами. Во-первых она обеспечивает наибольшую полосу пропускания. Ее решения обеспечивают массовое обслуживание абонентов на расстоянии до 20 км от узла связи. Также данная сеть позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы. В основном это происходит за счет уменьшения площади технических помещений необходимых для размещения оборудования, снижения энергопотребления и собственно затрат на техническую поддержку. При построении таких сетей снижается количество необходимого коммутационного и дополнительного оборудования такого как коммутаторы, коммуникационные шкафы, коммутационные панели, электрические счетчики, источники бесперебойного питания. Эти и другие преимущества позволяют обеспечить более высокий уровень качества обслуживания абонентов. Но к сожалению технология FTTH имеет не такое широкое распространение, как другие сети, потому что существующие реализации обладают, либо довольно большим набором ограничений, либо требуют очень высоких капитальных затрат при строительстве [4].

Скорости доступа в Интернет стремительно растут. Это связано как с соответствующими требованиями приложений, так и с возможностями сервис-провайдеров и индустрии в целом. Большая часть полосы пропускания большинства современных широкополосных сетей расходуется одноранговыми приложениями и контентом с повышенной требовательностью к сетевым ресурсам. Эта гонка между запросами приложений и техническими возможностями похожа на ту, которая имела место в отрасли производства программных компьютеров, когда на каждом этапе увеличения скорости процессора и объема памяти моментально появлялись приложения, полностью поглощающие новые ресурсы, например системы обработки приложений или видеомонтажа. И все же развертывание новых широкополосных сетей стимулируется в основном требованиями современных приложений, а не будущими потребностями. Наиболее емкими с точки зрения использования полосы пропускания являются приложения по передаче потокового видео. Может показаться, что для использования потокового телевидения высокого разрешения и просмотра страниц в Интернете полосы пропускания в 20-25 Мбит/с хватит надолго. Однако данные за прошлый период и прогноз на ближайшую перспективу показывают, что рост требований к полосе пропускания имеет экспоненциальный характер. В настоящее время в некоторых европейских странах отдельные сервис-провайдеры уже предлагают для частных абонентов доступ со скоростью 1 Гбит/с, и там созданы обширные сети со скоростью 100 Мбит/с. Такие скорости подключения абонентов возможны только на базе технологии FTTH [5].

**4 Рассмотрение особенностей оптических волокон G.657 различных модификаций**

Интерес к возможностям оптического волокна, предназначенного для сетей FTTH многоквартирных зданий, стабильно растет. И неудивительно, так как для широкомасштабного перехода на него необходимо сделать его прокладку такой же простой, как и прокладку медножильных кабелей, без понижения его надежности и работоспособности. Учитывая изменения требований к прокладке оптического волокна, была разработана рекомендация G.657 для определения и стандартизации двух классов одномодового оптического волокна.

Существуют ограничения по изгибу для оптических волокон, соответствующих рекомендациям ITU-T G.657.A и G.657.B (таблица 2):

Таблица 2 - Характеристики волокон по Рекомендации G.657

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики волокон | | | | | |
| Характеристика | G.657.A | | G.657.B | | |
| Длина волны, нм | 1310 | | 1310 | | |
| Диаметр модового пятна, мкм | 8,6 - 9,5 | | 6,3 – 9,5 | | |
| Диаметр оболочки, мкм | 125 | | 125 | | |
| Эксцентриситет сердцевины, мкм | 0,5 максимум | | 0,5 максимум | | |
| Сплющенность оболочки | 1,0% максимум | | 1,0% максимум | | |
| Длина волны среза кабеля, нм | 1260 максимум | | 1260 максимум | | |
| Потери на макроизгибе, дБ:  радиус, мм  количество витков  при 1550 нм  при 1625 нм | 15  10  0,25  1,0 | 10  1  0,75  1,5 | 15  10  0,03  0,1 | 10  1  0,1  0,2 | 7,5  1  0,5  1,0 |

Продолжение таблицы 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Проверочное напряжение, ГПа | 0,69 минимум | | 0,69 минимум | |
| Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм⋅км), не более, в интервале длин волн:  1285-1300  1525-1575 | 3,5  18 | | Не является определяющей | |
| Коэффициент затухания, дБ/км; на длине волны, нм | 0,4  0,35  0,3 | 1310  1383  1550 | 0,5  0,3  0,4 | 1310  1550  1625 |

Рекомендации делятся на две категории: A и B, которые различаются диаметром сердцевины. 10 витков волокна типа A, намотанного на оправку радиусом 15 мм, не должны увеличивать затухание более чем на 0,25 дБ при длине волны 1550 нм; один виток намотанного на оправку диаметром 10 мм, не должен увеличивать затухание более чем на 0,75 дБ. Не допускается также увеличение волокнами категории B затухания на длине волны 1550 нм: 10 витков на оправке диаметром 15 мм — более чем на 0,03 дБ, один виток на оправке диаметром 10 мм — более чем на 0,1 дБ, один виток на оправке диаметром 7,5 мм — более чем на 0,5 дБ.

Также по системе международной сертификации ITU выделяют четыре класса волокон стандарта G657 (таблица 3):

Таблица 3 – Типы волокон G.657

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | G.657A1 | G.657A2 | G.657B2 | G.657B3 |
| Минимальный радиус изгиба | 10 мм | 7,5 мм | 7,5 мм | 5 мм |

При прокладке межэтажного кабеля и кабеля абонентской разводки допускается использовать кабель с волокном стандарта G.657A1, G.657A2.

Патчкорд от абонентской розетки до абонентского терминала должен быть стандарта G.657 B3, иначе в дальнейшем возникнут проблемы с качеством изображения при передаче телевизионного сигнала, если патчкорд будет пережат или сильно изогнут [6].

**5 Потери и скорость передачи в оптических волокнах**

**5.1 Затухание**

Потеря оптической энергии при движении света по волокну называется затуханием. Измерять затухание принято в децибелах на километр. Затухание напрямую зависит от длины волны света. Бывают определенные окна прозрачности, свет в которых распространяется с незначительным затуханием. В начале своего распространения оптические волокна работали в окне прозрачности от 820 нм до 850 нм. Второе окно относится к области нулевой дисперсии около 1300 нм. Третье окно приблизительно в области 1550 нм.

Области высокого затухания находятся вблизи 730 нм, 950 нм, 1250 нм и 1380 нм. В данных областях работать не рекомендуется. Регулировать потери можно, осуществляя выбор нужной длины волны для передачи. Чтобы снизить потери в волокне нужно, настроить источник света на работу в области длин волн с наименьшим затуханием. Независимость от частоты модуляций внутри полосы пропускания в оптическом волокне является самой важной особенностью затухания. В медных кабелях при увеличении частоты сигнала, увеличивается и затухание. Из-за этого ограничивается расстояние, на которое посылается сигнал. Чтобы увеличить данное расстояние нужен повторитель, который собственно осуществляет регенерацию сигнала. У затухания существует два эффекта - рассеяние и поглощение.

Рассеянием оптической энергии называются потери, обусловленные его геометрической структурой, а также неоднородностью волокна. Такое рассеяние происходит во всевозможных направлениях, и свет больше не является направленным.

Так как интенсивность рассеяния обратно пропорциональна длине волны в четвертой степени, то она сильно уменьшается при увеличении длины волны. Рассеяние определяет наименьший теоретический предел затухания, равный: 2,5 дБ при 820 нм, 0,24 дБ при 1300 нм, 0,012 дБ при 1550 нм.

Поглощение - это процесс, при котором оптическая энергия поглощается неоднородностью волокна, а затем преобразуется в тепло. Свет в данном процессе тускнеет. Области существенного затухания сигнала волокна связаны с молекулами воды и большим поглощением света гидроксильными молекулами.

К другим неоднородностям, обуславливающим поглощение, относятся ионы железа, меди, кобальта, ванадия и хрома. Чтобы обеспечить низкие потери необходимо поддерживать концентрацию этих ионов на уровне одной миллиардной. Современная технология производства волокна вполне позволяет добиваться этого, поэтому проблема поглощения света в волокне в настоящее время не настолько важна, как раньше [7].

**5.2 Дисперсия**

Дисперсией называется расплывание светового импульса при его движении по оптическому волокну. Именно дисперсия ограничивает ширину полосы пропускания, а также информационную емкость кабеля. Чем ниже скорость передачи сигналов, тем реже располагаются импульсы в цепочке, а значит, что допустима большая дисперсия. Бывает три вида дисперсии: модовая, молекулярная и волноводная.

Модовая дисперсия характерна только для многомодовых волокон. Появляется она благодаря тому, что лучи проходят разные пути и достигают противоположного конца волокна в разное время. Уменьшается модовая дисперсия тремя способами. Первым способом является использование ядра с меньшим диаметром, благодаря чему поддерживается меньшее количество мод. Также уменьшить модовую дисперсию можно используя волокна со сглаженным индексом. В данном случае световые лучи, прошедшие по более длинным траекториям, двигаются со скоростью, превышающей среднюю, и достигают конца волокна в один момент с прошедшими по коротким траекториям. Третьим способом является использование одномодового волокна, что позволят избежать модовой дисперсии.

При молекулярной дисперсии лучи с разными длинами волн движутся по волокну с разными скоростями. Из-за этого скорость  в этом уравнении изменяется для каждой длины волны. А значит и показатель преломления изменяется в зависимости от длины волны. Данная дисперсия называется молекулярной, поскольку зависит от физических свойств вещества волокна.

Уровень дисперсии зависит от двух факторов, первым из которых можно считать диапазон длин волн света, инжектируемого в волокно. В основном источник излучает сразу несколько длин волн. Спектральной шириной источника называется диапазон длин волн, выраженный в нанометрах. Наибольшей спектральной шириной можно охарактеризовать светодиод.

Вторым фактором является центральная рабочая длина волны источника. В области 850 нм более длинные волны движутся быстрее, чем более короткие. Но в области 1550 нм ситуация меняется. Здесь короткие волны движутся быстрее по сравнению с более длинными. В некоторой точке спектра происходит совпадение, при котором более голубые и более красные длины волн движутся одинаковой скоростью. Данное совпадение скоростей происходит при 1300 нм. Этот диапазон называется длиной волны с нулевой дисперсией.

Волноводная дисперсия обусловлена тем, что оптическая энергия движется не только по ядру, но и по оптической оболочке. При этом излучение движется с разными скоростями в ядре и оболочке. Это происходит из-за того, что они имеют различные показатели преломления. Изменение внутренней структуры волокна позволяет существенно влиять на волноводную дисперсию, тем самым изменяя специфицированную общую дисперсию волокна. Данный вид дисперсии является одним из самых перспективных направлений разработки в одномодовых системах [8].

**5.3 Пропускная способность**

За недавнее время пропускная способность оптических волокон была значительно увеличена. В первую очередь пропускная способность волокна зависит от длины самого волокна. Чем оно длиннее, тем больше отрицательных эффектов, таких как межмодовая или хроматическая дисперсия, мы имеем. А значит и достижимая скорость передачи будет меньше.

Для коротких дистанций, в несколько сотен метров, наиболее выгодно будет использовать многомодовые волокна, так как они дешевле для установки.

Одномодовое волокно обычно используется для больших расстояний, в несколько километров и более. Общая скорость передачи данных может быть несколько терабит в секунду. Этого достаточно для передачи многих миллионов телефонных каналов одновременно. Даже этот потенциал не достигает на сегодняшний день физический предел оптического волокна. Кроме того, волоконно-оптический кабель может содержать несколько слоев.

**6 Измерение потерь на изгибах и на соединениях в различных оптических волокнах**

Измерения потерь проводятся для оценки качества ВОЛС. В большинстве случаев потери излучения являются основным фактором, ограничивающим длину ретрансляционного участка линии связи. При использовании высококачественного оборудования и соблюдения технологии монтажа полные потери в линии получаются близкими к их номинальному значению (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение номинальных потерь в линии связи

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Рабочая длина волны | Потери в оптическом кабеле | Потери в сварных соединениях | Потери в разъемных соединениях | Полные потери, вносимые линией |
| 1500 нм | 0,2⋅80 = 16 дБ | 0,05⋅80 = 0,85 дБ | 0,3⋅2 = 0,6 дБ | 17,45 дБ |
| 1310 нм | 0,33⋅80 = 26,4 дБ | 0,05⋅80 = 0,85 дБ | 0,3⋅2 = 0,6 дБ | 27,85 дБ |

Если есть уверенность, что эти условия соблюдены, то можно ограничиться только измерением полных потерь в линии с помощью мультиметра. Мультиметр значительно более простой прибор, чем рефлектометр, и измерения полных потерь в линии с его помощью требуют значительно меньше времени, чем измерения распределения потерь в линии с помощью рефлектометра. Такой подход используется для того, чтобы уменьшить время монтажа линии. Однако в тех случаях, когда нет уверенности в том, что все технологические условия соблюдены, необходимо измерять распределение потерь вдоль линии связи [9].

**7 Соединения оптических волокон**

**7.1 Подготовка волокон**

При монтаже оптической магистрали осуществляется стационарное соединение отдельных строительных длин кабеля. При вводе оптического кабеля в здание или регенераторные пункты для многократного соединения–разъединения с оптоэлектронным оборудованием применяются разъемные соединители – коннекторы.

До начала соединения двух волокон требуется некоторая подготовка торцов волокон. Она заключается в удалении первичного защитного покрытия с последующей заготовкой гладкого их торца путем скалывания или полировки. Для удаления первичного покрытия с волокна можно использовать химические и механические способы зачистки.

Для химической зачистки применяются растворители красок, которые содержат в качестве активного вещества метилен хлорид. После замачивания концов стекловолокон в емкости с растворителем в течение минуты происходит размягчение первичного защитного покрытия, которое при незначительных усилиях снимается с волокна. Очищенное волокно вытирается мягкой тканью, смоченной спиртом или ацетоном. При заводском способе зачистки в качестве активного вещества с соответствующими предосторожностями применяют горячую серную кислоту.

Механическая зачистка нашла широкое применение при подготовке торцов волокон в полевых условиях. В качестве инструмента применяется аналогичное устройство, которое используется для снятия изоляции с медных проводов, но отличающееся большей точностью, чтобы исключить повреждение волокон режущими лезвиями. Такое устройство носит название стриппер. Очищенное волокно вытирается сухой мягкой тканью или смоченной спиртом или ацетоном.

Скалыванием называют подготовку торца волокна с нанесением царапины и последующим разломом. Для нанесения царапины используется, как правило, алмазное лезвие. После нанесения царапины волокно растягивается, что вызывает рост засечки и скалывается.  Обе эти операции можно выполнить с помощью специального устройства – скалывателя. Зачищенное волокно вставляют в данное устройство, зажимают его, давлением на рычаг царапают волокно, захватывая и растягивая его зажимом, ломают.

В идеале скол волокна должен быть перпендикулярен. Качество скола торца волокна зависит от скалывающего устройства и опыта оператора. Плохой скол создает дефекты типа выступа, матовости или волнистости, которые приводят к потерям на стыке.

Шлифовка и полировка торца волокна производится с помощью разнообразных держателей на сухой абразивной бумаге или бумаге, смоченной для отвода тепла водой или абразивными пастами.

После скола или полировки подготовленное волокно необходимо обследовать при помощи микроскопа или десятикратной лупы. При наличии неоднородностей требуется повторить скалывание или продолжить полировку.

В одномодовом соединении с плоскими полированными контактами и при наличии воздушного зазора между сопрягаемыми волокнами, как отмечалось выше, часть энергии отражается назад к источнику и создает возвратные потери. Уровень отраженной мощности может достигать 11 дБ, что вполне достаточно для проявления интерференции встречных излучений и ее воздействия на работу лазерного диода.

**7.2 Сращивание**

Сращивание осуществляется методом сварки или с помощью механического сростка.

Сварка является наиболее распространенным способом соединения волокон и заключается в местном нагреве границы раздела двух состыкованных и предварительно отцентрированных торцов волокон, в результате которого они сплавляются друг с другом. В качестве источника энергии используется электрическая дуга, возникающая между электродами, пламя газовой горелки или лазер. Наибольшее распространение получила электрическая дуга, поскольку она позволяет довольно просто регулировать нагрев и работать в полевых условиях.

Установка для сварки предусматривает следующие операции. Очищенные и сколотые торцы волокон зажимают на позиционных платформах с определенным зазором, который позволяет их центрировать вручную или автоматически. После выравнивания производится скругление торцов волокон маломощной дугой, с выжиганием при этом посторонних веществ. После этого увеличивают температуру дуги, и нагретые торцы волокон сводят вместе, вдавливая друг в друга на длину хода сжатия. Вдавливание предотвращает образование горловины в месте сращивания. После вдавливания температуру дуги постепенно уменьшают до полного выключения установки. Образовавшийся сросток подвергают проверочным испытаниям, затем восстанавливают защитное покрытие и при необходимости усиливают.

Качество сварки зависит от расстояния между электродами, времени предварительного оплавления и собственно сварки, тока электрической дуги и длины хода сжатия.

По принципу действия сварочные аппараты подразделяются на аппараты с ручным управлением, полуавтоматические и автоматические.

В аппаратах первого типа после закрепления волокон в микропозиционерах производится их автоматическое сведение. Все операции, связанные со сваркой, выполняются вручную. Как правило, значение потерь для данного класса сварочных аппаратов составляет 0,1 дБ для одномодовых и 0,05 дБ для многомодовых световодов.

В аппаратах второго типа центрирование также осуществляется посредством V-образных канавок, однако сведение волокон и процесс сварки проводятся в автоматическом режиме по предварительно заданной программе, определяемой типом свариваемых волокон. Значение потерь при этом составляет от 0,04 дБ до 0,05 дБ для одномодовых волокон и 0,03 дБ для многомодовых волокон.

Большинство современных сварочных устройств содержат микропроцессоры, которые выполняют все операции сварки полностью автоматически.

Рассмотрим возможности одного из таких устройств. Аппарат позволяет сваривать любые типы волокон в ручном и автоматическом режимах, тестирует волокно перед сваркой, устанавливает оптимальные параметры работы, оценивает качество поверхностей волокон перед сваркой, измеряет потери в месте их соединения и, если это необходимо, дает команду повторить сварку. Кроме этого аппарат защищает место сварки специальной гильзой и проверяет на прочность сварное соединение. Аппарат позволяет сваривать одномодовые и многомодовые стекловолокна с потерями соответственно 0,02 дБ и 0,01 дБ, что является превосходным результатом. Однако такие аппараты довольно дороги. Тем не менее предпочтение отдается именно им, так как, используя их, достигают две цели. Во-первых высокое качество сварки, а во-вторых высокую скорость работ, что немаловажно при выполнении ответственных заказов, таких как срочная ликвидация аварии на магистральной линии связи.

Также разработан сварочный аппарат для одновременного сращивания нескольких волокон оптического кабеля ленточного типа, что позволяет резко сократить время и расходы на сварку.

Несварные соединения также называют механическими сростками. Разработано большое разнообразие механических сростков. Но для всех требуются подготовка оптических волокон к соединению, вещество для выравнивания показателя преломления отдельных стекловолокон, элементы для их центрирования, а также зажимы или клей для фиксации положения.

Выравнивающим веществом может служить гель, смазка или клей.

Гель используется как жидкость, которая, затвердевая, образует устойчивое связывающее вещество. Смазки не затвердевают, поэтому они менее стабильны к окружающим условиям.

Механическое сращивание подразделяется на  активное или пассивное в зависимости от того, производится ли выравнивание волокна для оптимизации потерь или нет. При механическом сращивании отдельных волокон доминируют три технологии: четырехстержневые направляющие, эластомерные сростки, а также вращаемый сросток.

На рисунке 3 представлена конструкция четырехстержневых направляющих механического сростка. Основой этой конструкции являются направляющие, состоящие из четырех стеклянных стержней, которые образуют ромбо­идальное отверстие с четырьмя  желобками.

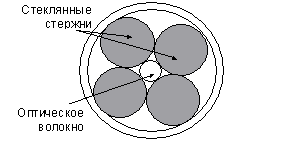


Рисунок 3 – Соединение волокон с помощью четырехстержневых направляющих

Волокна вставляют в отверстие, а пустые пространства заполняют выравнивающим клеем, который затвердевает под действием ультрафиолетового излучения. Поверх направляющих надевают защитную трубку из нержавеющей стали.

Чуть позже был освоен выпуск механических сростков, основу которых составляют две вставки из эластомерного полистирола изображенные на рисунке 4.

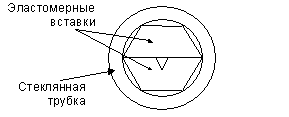


Рисунок 4 – Соединение волокон с помощью эластомерного сростка

Одна из вставок имеет по всей длине V-образный желобок, а вторая – плоскую поверхность. Сложенные вставки центрируют и прижимают предварительно заготовленные волокна. Надетая поверх стеклянная трубка фиксирует сросток. Свободные пространства заполняют затвердевающим клеем.

Точной подстройки можно добиться во вращаемом механическом сростке, представленном на рисунке 5.

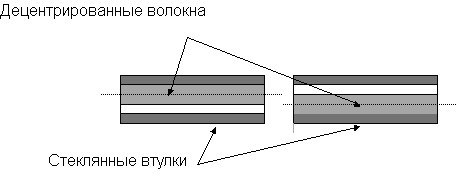


Рисунок 5 – Соединение волокон с помощью вращаемого сростка

 В этом сростке для подготовки торцов волокон используют полировку. Сросток можно легко подстраивать путем вращения двух стеклянных втулок, в которые вставляются волокна. Втулки закрепляются в треугольных муфтах. После выравнивания волокон свободные пространства заполняют затвердевающим клеем.

**7.3 Коннекторы**

Оптические коннекторы – это механическое устройство предназначенное для многократных соединений. Они обеспечивают быстрый способ переконфигурации оборудования, проверки волокон, подсоединения к источникам и приемникам света. Перед установкой коннектора торец волокна зачищают, а затем скалывают или полируют. Коннекторы в основном создают большие потери, чем сростки, так как в них обычно не используется выравни­вающее показатели преломления вещество, и они не подстраиваются. Коннектор для соединения одиночных волокон состоит из двух основных частей: штекера и соединителя. Штекер состоит из цилиндрического или конического наконечника с волокном внутри капиллярного отверстия, проходящего по центральной оси наконечника. Наконечники изготавливают из керамики, пластмассы или нержавеющей стали.

Керамические наконечники обладают лучшими качествами и применяются для соединения одномодовых волокон. Керамика является достаточно прочным материалом, позволяющим высверливать отверстие под волокно с высокой точностью. Кроме того, она сохраняет высокие технические характеристики в широком диапазоне температур и других внешних воздействий. Для наконечников используется два вида керамики: окись алюминия и окись циркония. Первоначально применяли окись алюминия – твердый, неэластичный материал, позволяющий очень точно выдерживать допуски в процессе его изготовления. Коэффициент теплового расширения окиси алюминия очень близок к аналогичному коэффициенту для стекла. Недостатком данного материала является его хрупкость и разрушение при незначительных давлениях. Кроме того, полировка окиси алюминия достаточно сложна, особенно в полевых условиях. Окись циркония – более мягкий вид керамики и более устойчивый по отношению к механическим ударам. К тому же он достаточно прочен и позволяет выдерживать допуски подобно окиси алюминия, но в отличие от нее легче полируется.

Пластмассовые наконечники обладают меньшей стоимостью, но обеспечивают менее качественное соединение.

Наконечники из нержавеющей стали имеют промежуточные характе­ристики. Их широкое применение объясняется высокой прочностью и меньшей хрупкостью по сравнению с керамикой.

Штекер имеет резьбовую крышку, которая удерживает его и соединитель вместе. Для приложения контролируемой нагрузки на границу волокон крышка может иметь пружину, для предотвращения поворота штекера внутри соединителя – ключ, для ограничения минимального радиуса изгиба волокна при вводе в штекер – защитную трубку, для предотвращения выдергивания волокна – рукав для снятия деформации.

Для закрепления волокна в соединителе применяется эпоксидный клей, после застывания которого волокно вместе с наконечником полируется для обеспечения гладкости среза соединителя.

В настоящее время разработана бесклеевая технология. Корпус такого соединителя имеет дополнительный наконечник, позволяющий закрепить волокно как на конце, так и у основания соединителя. Такие обжатые волокна имеют технические характеристики, не уступающие клеевому закреплению, однако по времени установки выгодно отличаются от последнего [10].

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты курсового проекта состоят в следующем:

Был проведен анализ свойств, характеристик и возможностей оптических волокон G.651, G.652 и G.657, в ходе которого были проанализированы такие свойства и характеристики как диаметр светопроводящей сердцевины и оболочки, скорость передачи, а также оптимальная дистанция передачи данных. В результате проведенного анализа был сделан вывод, что волокна всех трех типов пригодны для использования в сетях FTTH. Также были проанализированы возможности рассматриваемых нами оптических волокон по скорости передачи информации, в следствие чего был сделан вывод, что уже в настоящее время в сетях FTTH используются скорости порядка 10 Гбит/c.

Были изучены особенности оптических волокон рекомендации G.657 различных модификаций. С помощью данных особенностей был сделан вывод, что волокна G.657 имеют широкую рабочую область длин волн от 1300 нм до 1650 нм, что обеспечивает высокую информационную пропускную способность с применением систем DWDM.

Также были проведены измерения потерь на изгибах и на соединениях в различных оптических волокнах, показавшие, что полные потери вносимые линией могут достигать 17,45 дБ на рабочей длине волны 1500 нм, а также 27,85 дБ на длине волны 1310 нм. В результате данных измерений было выявлено, что волокно рекомендации G.657 наиболее пригодно для использования в сетях FTTH, благодаря тому, что данный тип волокна допускает очень малые радиусы изгибов.

**Список использованных источников**

1 Родина О. В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. - М.: Горячая линия – Телеком, 2014. - 400 с.

2 Портнов Э. Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерения: Уч. пособие для вузов. - М.: Горячая линия – Телеком, 2012.

3 Андреев В. А. Направляющие системы электросвязи. Том 2 - Проектирование, строительство и техническая эксплуатация: учеб. для вузов / В. А. Андреев, А. В. Бурдин, Л. Н. Кочановский, В. Б. Попов - М.: Горячая линия - Телеком, 2010. - 424 с.

4 Скляров О. К. Волоконно-оптические системы связи. - СПб.: Лань, 2010, 272 С.

5 Портнов Э. Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. Уч. пособие для вузов. - М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

6 Центр дистанционного образования Дальневосточного Государствен-ного Университета Путей Сообщения. - (Рус.). - URL: http://edu.dvgups.ru/ [23 декабря 2016].

7 Физика твердого тела. - (Рус.). - URL: http://dssp.petrsu.ru/ [27 декабря 2016].

8 Решения для операторов связи и телекоммуникаций. - (Рус.). - URL: http://www.teralink.ru/ [4 января 2017].

9 D-Link Building Networks for People. - (Engl.). - URL: http://www.dlink.ru/ [18 February 2017].

10 ИЦТелеком-Сервис. Информационные технологии. Искусство интеграции. - (Рус.). - URL: http://www.tls-group.ru/ [22 февраля 2017].

