МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра оптоэлектроники**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

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

Курс 2

Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Научный руководитель

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

Нормоконтролер преподаватель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Лысенко Вадим Евгеньевич

Краснодар 2016

**Реферат**

Курсовая квалификационная работа 30 с., 5 рис., 1 табл., 10 источников.

Применения оптических волокон, одномодовые и многомодовые волокна, потери и скорость передачи, мультиплексирование

Целью данной курсовой работы является изучение применения оптических волокон и в частности изучение свойств и характеристик оптических волокон, потерь и скорости передачи в них, а также соединений оптических волокон.

В результате выполнения курсовой работы были изучены все виды оптических волокон и их применение, а также перечислены методы увеличения пропускной способности в оптических волокнах.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначения и сокращения..................................................................... | 4 |
| Введение.................................................................................................... | 5 |
| 1 Свойства и характеристики оптических волокон.............................. | 6 |
|  1.1 [Характеристики и типы оптических волокон](http://www.teralink.ru/?do=stech1&id=66)...................................... | 6 |
|  1.2 Стандарты оптических волокон.................................................... | 6 |
|  1.3 Градиентное многомодовое волокно............................................ | 9 |
|  1.4 Типы одномодового волокна......................................................... | 10 |
| 2 Потери и скорость передачи в оптических волокнах........................ | 12 |
|  2.1 Затухание......................................................................................... | 12 |
|  2.2 Дисперсия........................................................................................ | 13 |
|  2.3 Пропускная способность................................................................ | 15 |
| 3 Соединения оптических волокон........................................................ | 16 |
|  3.1 Подготовка волокон........................................................................ | 16 |
|  3.2 Сращивание..................................................................................... | 17 |
|  3.3 Коннекторы...................................................................................... | 22 |
| 4 Метод увеличения пропускной способности оптического волокна | 24 |
|  4.1 Метод временного мультиплексирования (TDM)....................... | 24 |
|  4.2 Метод частотного мультиплексирования (FDM)......................... | 26 |
|  4.3 Мультиплексирование по поляризации (PDM)............................ | 27 |
|  4.4 Мультиплексирование оптических несущих (WDM)................. | 27 |
| Заключение............................................................................................... | 29 |
| Список использованных источников..................................................... | 30 |

**Обозначения и сокращения**

|  |  |
| --- | --- |
| NTT | Nippon Telephone and Telegraph |
| NEC | Nippon Electric Corporation |
| SC | Subscriber connector |
| SMA | Sub-Miniaturetype A |
| 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 |
| WDM | Многоканальное волновое мультиплексирование |
| TDM | Мультиплексирование в пределах одной длины волны |
| FDM | Частотный метод мультиплексирования |
| PDM | Уплотнение по поляризации |
| 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) диапазона, а в качестве направляющих систем — [волоконно-оптические](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BD%D0%BE) кабели. Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям мультиплексирования пропускная способность [волоконно-оптических линий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B8) 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.

 **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.

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

 **2.1 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 820нм до 850нм. Второе окно относится к области нулевой дисперсии около 1300нм. Третье окно приблизительно в области 1550нм.

 Области высокого затухания находятся вблизи 730нм, 950нм, 1250нм и 1380нм. 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.

 **2.2 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 850нм более длинные волны движутся быстрее, чем более короткие. Но в области 1550нм 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 1300нм. 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.

**2.3 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.

**3 Соединения оптических волокон**

 **3.1 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.

 **3.2 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.

 **3.3 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.

 **4 Метод увеличения пропускной способности оптического волокна**

 **4.1 Метод временного мультиплексирования TDM**

 Существует несколько способов увеличения пропускной способности систем передачи информации:

 –мультиплексора с разделением по длине волны — оптического смесителя, позволяющего пропускать по одному волокну одновременно несколько длин волн. Это мультиплексирование не решает проблему расстояния на гигабитных скоростях, поскольку не влияет на соотношение пропускной способности к расстоянию. Стоимость оборудования для мультиплексирования сравнима с прокладкой нового кабеля;

 –оборудования, увеличивающего полосу пропускания, специальный тип соединительных кабелей позволяющих отбросить некоторые из оптических мод высшего порядка. Это увеличивает затухание и полосу пропускания. Для определения оптимального соотношения затухания и полосы пропускания сначала проводятся примерные расчеты, после чего каждое волокно тестируется;

 –многие способы увеличения пропускной способности оптического волокна сводятся к одному из методов уплотнения компонентных информационных потоков в один групповой, который передается по линии связи.

 Поскольку большинство из методов уплотнения находит широкое применение в современных системах связи, рассмотрим каждый из них.

 Time Division Multiplexing - это проверенная временем технология. Хотя в некотором будущем она может уступить место АТМ или IP, на сегодняшний

день это преобладающая технология местного доступа, и число систем на основе TDM продолжает увеличиваться.

 Существует несколько причин, в силу которых TDM продолжает играть ведущую роль для местного доступа:

 –полоса пропускания постоянно становится дешевле и доступнее, что делает проблему ее максимально эффективного использования менее острой;

 –низкая цена оборудования TDM;

 –простота установки и обслуживания;

 –непревзойденное качество передачи голоса;

 –зрелость самой технологии и решений на ее основе;

 –хорошая стандартизация и совместимость аппаратуры различных производителей;

 –малое и постоянное время задержки.

 Технологию TDM первой стали широко применять в обычных системах электросвязи. Эта технология предусматривает объединение нескольких входных низкоскоростных каналов в один составной высокоскоростной канал. Входные каналы по очереди модулируют высокочастотную несущую в течение выделенных им коротких промежутков времени, которые периодически повторяются. Например, в течение первого тайм-слота несущая модулируется первым входным каналом, в течение второго - вторым, в течение третьего - третьим, в течение четвертого - четвертым, в течение пятого - снова первым, в течение шестого - снова вторым и так далее.

 В системах TDM все информационные каналы передаются по одному волокну на одной длине волны в течение соответствующих тайм-слотов.

Мультиплексор на одной стороне канала связи собирает данные со всех источников и передает их по волокну в течение соответствующих тайм-слотов. Демультиплексор на другой стороне линии связи выделяет тайм-слоты, считывает данные и передает их соответствующим пользователям уже в виде единых выходных потоков.

 Использование технологии TDM позволило увеличить пропускную способность волоконно-оптических линий связи до 10 Гбит/с. Линии со скоростью 10 Гбит/с постепенно заменяют первоначально использовавшиеся системы TDM со скоростью 2,5 Гбит/с. Скорость передачи 10 Гбит/с в некотором роде разграничивает два типа систем TDM. Выше этой скорости некоторые основные характеристики оптического волокна - поляризационная модовая дисперсия, хроматическая дисперсия - начинают значительно влиять на качество передачи и должны приниматься во внимание при разработке систем связи.

 Дальнейшее увеличение скорости передачи с помощью технологии TDM требует разработки и внедрения исключительно сложных и дорогостоящих электронных компонентов. Точность синхронизации сигналов систем передачи, предъявляемые при модуляции тока лазеров, мультиплексировании и демультиплексировании электрических сигналов на сверхвысоких частотах, очень высоки.

 **4.2 Метод частотного мультиплексирования (FDM)**

 При частотном методе мультиплексирования (FDM – Frequency Division Multiplexing) каждый информационный поток передается по физическому каналу на соответствующей частоте - поднесущей. Если в качестве физического канала выступает оптическое излучение - оптическая несущая, то она модулируется по интенсивности групповым информационным сигналом, спектр которого состоит из ряда частот поднесущих, количество которых равно числу компонентных информационных потоков.

 На приемной стороне оптическая несущая попадает на фотодетектор, на нагрузке которого выделяется электрический групповой поток, поступающий после усиления в широкополосном усилителе приема на входы узкополосных фильтров, центральная частота пропускания которых равна одной из поднесущих частот.

 В качестве компонентных потоков могут выступать как цифровые, так и аналоговые сигналы, В настоящее время в кабельных системах передачи частотное уплотнение применяется в многоканальном кабельном телевидении, где для этой цели отведен диапазон частот 47 - 860 МГц, т.е. как метровый, так и дециметровый диапазоны ТВ.

 **4.3 Мультиплексирование по поляризации (PDM)**

 Уплотнение потоков информации с помощью оптических несущих, имеющих линейную поляризацию, называется уплотнением по поляризации (PDM – Polarization Division Multiplexing). При этом плоскость поляризации каждой несущей должна быть расположена под своим углом.

 Мультиплексирование осуществляется с помощью специальных оптических призм, например, призмы Рошона. Поляризационное мультиплексирование возможно только тогда, когда в среде передачи отсутствует оптическая анизотропия, т.е. волокно не должно иметь локальных неоднородностей и изгибов. Это одна из причин весьма ограниченного применения данного метода уплотнения. В частности, он применяется в оптических изоляторах, а также в оптических волоконных усилителях, которые используются в устройствах накачки эрбиевого волокна для сложения излучения накачки двух лазеров, излучение которых имеет выраженную поляризацию в виде вытянутого эллипса.

 **4.4 Мультиплексирование оптических несущих (WDM)**

 Оптическое мультиплексирование с разделением по длинам волн МРДВ (WDM) - сравнительно новая технология оптического (или спектрального) уплотнения, которая была разработана в 1970-1980 годах.

 В настоящее время WDM играет для оптических синхронных ту же роль, что и мультиплексирование с частотным разделением МЧР (FDM) для аналоговых систем передачи данных. По этой причине системы с WDM часто называют системами оптического мультиплексирования с частотным разделением ОМЧР (OFDM). Однако по сути своей эти технологии (FDM и OFDM) существенно отличаются друг от друга. Их отличие состоит не только в использовании оптического (OFDM) или электрического (FDM) сигнала. При FDM используется механизм АМ модуляции с одной боковой полосой (ОБП) и выбранной системой поднесущих, модулирующий сигнал которых одинаков по структуре, так как представлен набором стандартных каналов ТЧ. При OFDM механизм модуляции, необходимый в FDM для сдвига несущих, вообще не используется, несущие генерируются отдельными источниками (лазерами), сигналы которых просто объединяются мультиплексором в единый многочастотный сигнал. Каждая его составляющая (несущая) принципиально может передавать поток цифровых сигналов, сформированный по законам различных синхронных технологий. Например, одна несущая формально может передавать АТМ трафик, другая SDH, третья PDH и т.д. Для этого несущие модулируются цифровым сигналом в соответствии с передаваемым трафиком.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

 Сравнение медного провода и оптического волокна. Оптическое волокно обладает рядом преимуществ. Во-первых, оно обеспечивает значительно более высокие скорости передачи, чем медный провод. Уже благодаря этому оптическое волокно должно применяться в высококачественных профессиональных сетях. Благодаря низкому коэффициенту ослабления повторители для оптоволоконной связи требуются лишь через каждые 50 км, по сравнению с 5 км для медных проводов, что существенно снижает затраты для линий дальней связи. Преимуществом оптического волокна также является его толерантность по отношению к внешним электромагнитным наводкам. Оно не подвержено коррозии, поскольку стекло является химически нейтральным. Телефонные компании любят оптическое волокно еще по одной причине: оно тонкое и легкое. Многие каналы для кабелей заполнены до отказа, так что новый кабель некуда положить. Если вынуть из такого канала все медные кабели и заменить их оптическими, то останется еще много свободного места. Кроме того, оптический кабель значительно легче медного. Тысяча медных витых пар длиной в 1 км имеют массу около 8000 кг. Пара оптоволоконных кабелей имеют массу всего 100 кг при гораздо большей пропускной способности, что снижает затраты на дорогие механические системы. При прокладке новых маршрутов оптоволоконные кабели выигрывают у медных благодаря гораздо более низким затратам на их прокладку. Наконец, оптоволоконные кабели не теряют свет и к ним сложно подключиться, что способствует их надежности и сохранности. Отрицательной стороной оптоволоконной технологии является то, что для работы с ней требуются определенные навыки, которые имеются далеко не у всех инженеров. Кабель довольно хрупкий и ломается в местах сильных изгибов. Кроме того, поскольку оптическая передача данных является строго однонаправленной, для двухсторонней связи требуется либо два кабеля, либо две частотные полосы в одном кабеле. Наконец, оптический интерфейс стоит дороже электрического.

**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 2015].

 7 Физика твердого тела. - (Рус.). - URL: http://dssp.petrsu.ru/ [27 декабря 2015].

 8 Решения для операторов связи и телекоммуникаций. - (Рус.). - URL: http://www.teralink.ru/ [4 января 2016].

 9 D-Link Building Networks for People. - (Engl.). - URL: http://www.dlink.ru/ [18 February 2016].

 10 ИЦТелеком-Сервис. Информационные технологии. Искусство интег-рации. - (Рус.). - URL: http://www.tls-group.ru/ [22 февраля 2016].