

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г.Саратове
Филиал СамГУПС в г. Саратове

КУРС ЛЕКЦИЙ

ПМ 01 Монтаж, ввод в действие и эксплуатация устройств транспортного
радиоэлектронного оборудования

МДК 01.01. Теоретические основы монтажа, ввода в действие и
эксплуатации устройств транспортного радиоэлектронного оборудования
Тема 1.5 Техническая эксплуатация и обслуживание волоконно-оптических
линий передачи
для специальности

11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного
оборудования(по видам транспорта) (на железнодорожном транспорте)

Саратов 2023

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета
Протокол №1 от «21» 09 2023г.

СОГЛАСОВАНО

Протокол №1 от «31»08 2023г.
Председатель ЦМК 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

_____/Ю.А. Солдатенко/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.А. Крижановский/

Автор (составитель):

Калугин Б.Б – преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове

Рецензент:

Соболева А.Б - преподаватель высшей квалификационной категории
филиала СамГУПС в г. Саратове

Содержание

1 Основы построения систем волоконно-оптической связи (ВОС)	3
1.1 Волоконно-оптические линии передачи. Основные понятия и определения	3
1.2 Свойства и типы оптических волокон (ОВ)	6
1.3 Классификация оптических кабелей	14
1.4 Методы соединения оптических волокон	21
1.5 Пассивные оптические компоненты систем ВОС.	26
1.6 Электронные компоненты систем ВОС	30
2 Измерения параметров волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)	36
2.1 Метод оптического рефлектометра	36
2.2 Метод вносимых потерь	37
2.3 Метод обрыва	39
Список используемых источников	41
Приложение А Стандарты оптических волокон в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т	44

1 Основы построения систем волоконно-оптической связи (ВОС)

1.1 Волоконно-оптические линии передачи. Основные понятия и определения

Система передачи (СП) – комплекс технических средств, обеспечивающий образование линейного тракта, типовых групповых трактов и каналов передачи.

Линейный тракт – комплекс технических средств, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью соответствующей данной системе передачи. В зависимости от типа системы передачи линейный тракт называют аналоговым или цифровым.

Волоконно-оптическая линия передачи (ВОЛП) – совокупность линейных трактов волоконно-оптических систем передачи, имеющих общий оптический кабель, линейные сооружения и устройства их обслуживания.

Тракт групповой представляет собой комплекс технических средств, предназначенный для передачи сигналов электросвязи нормализованного числа каналов тональной частоты (ТЧ) или основных цифровых каналов (ОЦК) в полосе частот или со скоростью передачи, соответствующей данному групповому тракту. В зависимости от нормализованного числа каналов групповой тракт называют первичным, вторичным, третичным, четверичным или N-ым групповым трактом.

Канал передачи – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью передачи между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также между сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети. Каналы подразделяются на аналоговые и цифровые (канал ТЧ 0,3...3,4 кГц, ОЦК 64 кбит/с). Для их согласования применяются аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП).

Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) – это вид системы передачи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием "оптическое волокно".

ВОЛС – это информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии связи. Технологии ВОЛС помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей.

Передача информации по ВОЛС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю. Стремительное внедрение в информационные сети ВОЛС является следствием преимуществ, вытекающих из особенностей распространения сигнала в оптическом волокне. Выявим эти преимущества.

- Широкая полоса пропускания (полоса пропускания оптического диапазона 187,5 ТГц).

- Низкое значение коэффициента затухания оптического кабеля в широкой полосе частот, что позволяет обеспечивать большие длины регенерационных участков, значительно сократить или исключить ретрансляторы.

- Высокая защищенность от внешних электромагнитных помех (оптическая связь не восприимчива к любым внешним и перекрестным электромагнитным помехам, не генерирует собственные электрические шумы)

- Неограниченные запасы сырья для производства ОВ (кварц), малая металлоемкость и отсутствие дефицитных материалов (медь, свинец) в оптическом кабеле

- Малые размеры и масса ОК, что снижает затраты на его транспортировку и прокладку по сравнению с медными кабелями

— Высокая защищенность от несанкционированного доступа в связи с малой интенсивностью рассеиваемого излучения

— Высокая надежность и безопасность, обусловленная отсутствием коротких замыканий

— Пригодность прокладки ОК по существующим трассам, возможность при совершенствовании технологии оптической передачи наращивания пропускной способности уже проложенного ОК.

— Взрыво- и пожаробезопасность. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает безопасность сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска.

— Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот процесс значительно замедлен, и срок службы ВОК составляет примерно 25 лет. За это время может смениться несколько поколений/стандартов приемо-передающих систем.

1.2 Свойства и типы оптических волокон (ОВ)

1.2.1 Конструкция оптического волокна

Как известно, отражение и преломление зависят от показателей преломления граничащих сред и угла падения света на границу. Работа волокна основана на тех же принципах. Каждое волокно состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления. Сердцевина, по которой происходит распространение светового сигнала, изготавливается из оптически более плотного материала.

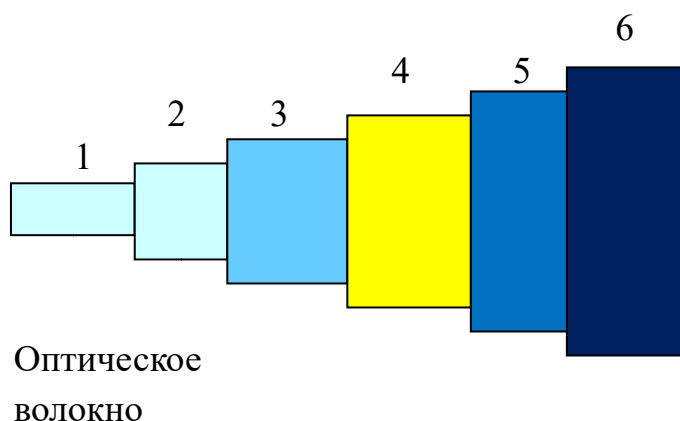


Рисунок 1.1– Устройство волокна

Обозначения:

- 1 – сердцевина;
- 2 – рабочая оболочка;
- 3 – силиконовая оболочка (полимерное покрытие);
- 4 – первичное защитное покрытие из эпоксиакрилата внешним диаметром 245 ± 15 мкм;
- 5 – вторичное защитное (буферное) покрытие;
- 6 – внешняя (упрочняющая) оболочка.

Рабочая оболочка предназначена:

а) для создания лучших условий отражения на границе раздела «сердцевина-оболочка;

б) для снижения излучения энергии в окружающее пространство.

n_1 – показатель преломления сердцевины;

n_2 – показатель преломления оболочки.

Причём $n_1 > n_2$.

1.2.2 Типы оптических волокон

Оптические волокна производятся разными способами, обеспечивают передачу оптического излучения на разных длинах волн, имеют различные характеристики и выполняют разные задачи. Все оптические волокна делятся на две основные группы: многомодовые MMF (multi mode fiber) и одномодовые SMF (single mode fiber).



Рисунок 1.2 - Распространение светового луча в одномодовом оптическом волокне

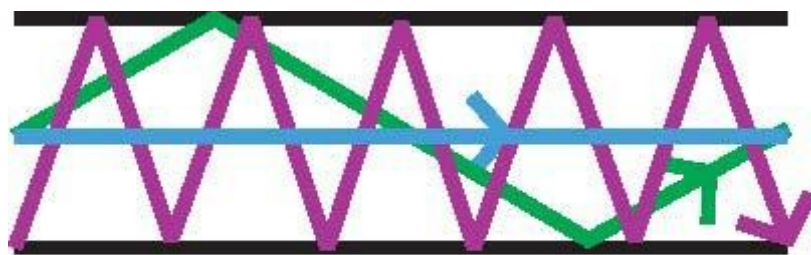


Рисунок 1.3 - Распространение светового луча в многомодовом оптическом волокне

Многомодовые волокна подразделяются на ступенчатые (step index multi mode fiber) и градиентные (graded index multi mode fiber).

Одномодовые волокна подразделяются на ступенчатые одномодовые волокна (step index single mode fiber) или стандартные волокна SF (standard fiber), на волокна со смещенной дисперсией DSF (dispersion-shifted single mode fiber), и на волокна с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (non-zero dispersion-shifted single mode fiber)

Для характеристики волокна используются соотношения, которые принято называть разностью показателей преломления и относительной разностью показателей преломления.

Разность показателей преломления сердцевин n_1 и оболочки n_2 для многоволнового оптического волокна типовое значение порядка 0,01 и менее 0,004 для одномодового волокна. Обозначается Δn и вычисляется по формуле: $\Delta n = n_1 - n_2$.

Под относительной разностью показателей преломления Δ понимают величину, равную, отношению разности показателей преломления сердцевин и оболочки к показателю преломления сердцевин:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx (n_1 - n_2)/n_1, \quad \text{и которое для большинства ОВ равно } \Delta = 10^{-2} \dots 10^{-3}.$$

Показатель преломления оболочки имеет постоянное значение, а показатель преломления сердцевин может быть либо постоянным, либо изменяться вдоль радиуса по определённому закону. Характер изменения показателя преломления ОВ вдоль радиуса называется профилем (индексом) показателя преломления.

Показатель преломления оптической оболочки менее чем на один процент меньше показателя преломления сердцевин. Характерные величины показателей преломления $n_1=1,47$ и $n_2=1,46$. Производители волокна строго контролируют разность показателей для получения нужных характеристик волокна.

Например, показатель преломления сердцевин оптического волокна фирмы Fujikura составляет $n_1=1,465$, фирмы Corning – $n_1=1,4681$. Разность

показателей преломления для многомодовых волокон $\Delta = n_1 - n_2 \rightarrow 0,01$; для одномодовых - $\Delta = n_1 - n_2 \rightarrow 0,004$.

Волокна, удовлетворяющие условию $n_1 - n_2 \ll n_1$, относятся к слабо направляющим волокнам.

Специфические особенности движения света вдоль волокна зависят от многих факторов:

- размера волокна;
- состава волокна;
- процесса инъекции (введения) света внутрь волокна.

Волокна сами по себе имеют чрезвычайно малый диаметр. Наиболее распространённые типы волокон имеют размеры, показанные на рисунках 1.4-1.7

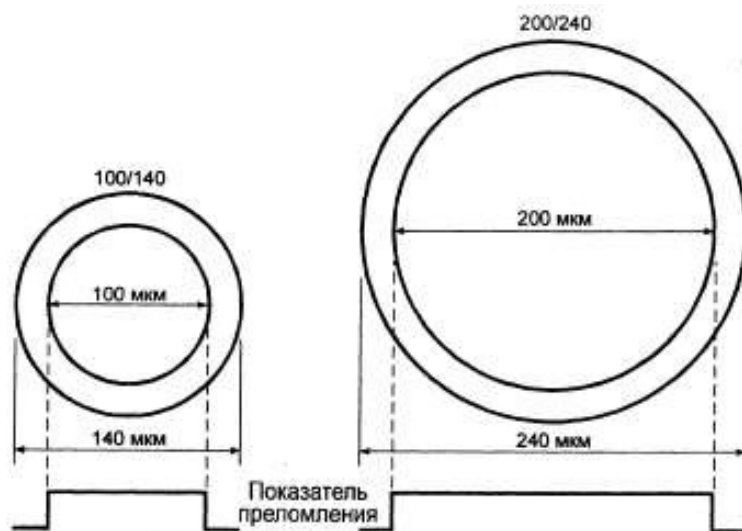


Рисунок 1.4 -Ступенчатое многомодовое волокно

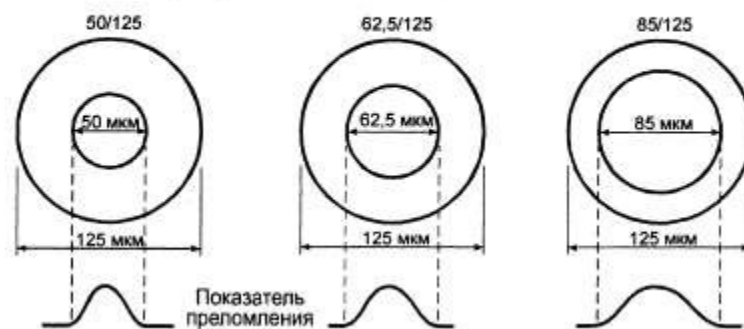


Рисунок 1.5 – Градиентное многомодовое волокно



Рисунок 1.6 – Ступенчатое одномодовое волокно



Рисунок 1.7 – Одномодовое волокно со смещенной дисперсией

Материал, из которого сделано ОВ может быть следующим: кварцевое стекло и пластик

Стеклянные волокна имеют как стеклянную сердцевину, так и стеклянную оптическую оболочку. Стекло, используемое в данном типе волокна, состоит из сверхчистого сверхпрозрачного диоксида кремния или плавленого кварца. В стекло добавляют примеси, чтобы получить требуемый

показатель преломления. Германий и фосфор увеличивают n , бор и фтор уменьшают его.

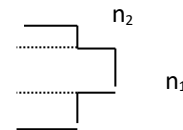
В стекле присутствуют другие примеси, не извлечённые в процессе очистки. Из-за них увеличивается затухание, обусловленное рассеянием и поглощением света.

Стеклянные волокна с пластмассовой оболочкой (PCS) имеют характеристики хуже, чем у полностью стеклянных.

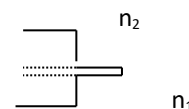
Пластические волокна имеют пластиковые сердцевину и оболочку. Имеют повышенное затухание и более узкую полосу пропускания. Пластиковые волокна самые дешёвые и обладают электромагнитной невосприимчивостью.

Индекс преломления сердцевины и модовая структура света могут быть :

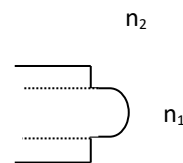
- многомодовый ступенчатый индекс;



- одномодовый ступенчатый индекс;



- многомодовый градиентный индекс.



Большинство устройств волоконной оптики используют область инфракрасного спектра в диапазоне от 800 до 1600 нм в основном в трех окнах прозрачности: 850, 1310 и 1550 нм. Именно окрестности этих трех

длин волн образуют локальные минимумы затухания сигнала и обеспечивают большую дальность передачи.

В стандартном многомодовом градиентном волокне (50/125 или 62,5/125) диаметр светонесущей жилы 50 и 62,5 мкм, что на порядок больше длины волны передачи. Это приводит к распространению множества различных типов световых лучей – мод – во всех трех окнах прозрачности. Два окна прозрачности 850 и 1310 нм обычно используют для передачи света по многомодовому волокну.

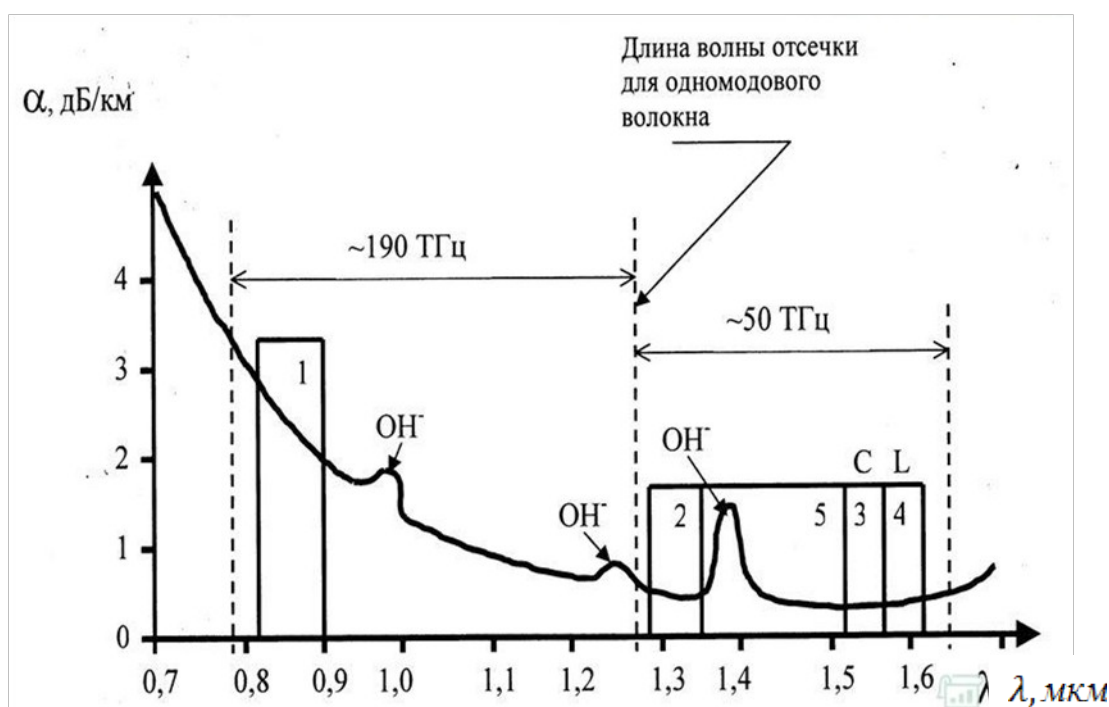


Рисунок 1.8 – Окна прозрачности ОВ

В ступенчатом одномодовом волокне (SF) диаметр светонесущей жилы составляет 8 – 10 мкм и сравним с длиной световой волны. В таком волокне при достаточно большой длине волны света $\lambda > \lambda_{\text{CF}}$ ($\lambda > \lambda_{\text{CF}}$ – длина волны отсечки) распространяется только один луч (одна мода). Одномодовый режим в одномодовом волокне реализуется в окнах прозрачности 1310 и 1550 нм. Распространение только одной моды устраняет межмодовую дисперсию и обеспечивает очень высокую пропускную способность одномодового

волокна в этих окнах прозрачности. Наилучший режим распространения с точки зрения дисперсии достигается в окрестности длины волны 1310 нм, когда хроматическая дисперсия обращается в ноль. С точки зрения потерь это не самое лучшее окно прозрачности. В этом окне потери составляют 0.3 – 0.4 дБ/км, в то время как наименьшее затухание 0.2 – 0.25 дБ/км достигается в окне 1550 нм.

В одномодовом волокне со смещенной дисперсией (DSF) длина волны, на которой результирующая дисперсия обращается в ноль, – длина волны нулевой дисперсии λ_0 – смещена в окно 1550 нм. Такое смещение достигается благодаря специальному профилю показателя преломления волокна. Таким образом, в волокне со смещенной дисперсией реализуются наилучшие характеристики как по минимуму дисперсии, так и по минимуму потерь. Поэтому такое волокно лучше подходит для строительства протяженных сегментов с расстоянием между ретрансляторами до ста и более километров. Разумеется, единственная рабочая длина волны берется близкой к 1550 нм.

Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF в отличие от DSF оптимизировано для передачи не одной длины волны, а сразу нескольких длин волн (мультиплексного волнового сигнала) и наиболее эффективно может использоваться при построении магистралей "полностью оптических сетей" – сетей, на узлах которых не происходит оптоэлектронного преобразования при распространении оптического сигнала.

Передача мультиплексного сигнала на большие расстояния требует использования линейных широкополосных оптических усилителей, из которых наибольшее распространение получили так называемые эрбиевые усилители на основе легированного эрбием волокна (EDFA). Линейные усилители типа EDFA эффективно могут усиливать сигнал в своем рабочем диапазоне от 1530 – 1560 нм. Длина волны нулевой дисперсии у волокна NZDSF, в отличие от волокна DSF, выведена за пределы этого диапазона, что

значительно ослабляет влияние нелинейных эффектов в окрестности точки нулевой дисперсии при распространении нескольких длин волн.

Оптимизация трех перечисленных типов одномодовых волокон совершенно не означает, что они всегда должны использоваться исключительно под определенные задачи:

- SF – передача сигнала на длине волны 1310 нм,
- DSF – передача сигнала на длине волны 1550 нм,
- NZDSF – передача мультиплексного сигнала в окне 1530 – 1560 нм.

Так, например, мультиплексный сигнал в окне 1530 – 1560 нм можно передавать и по стандартному ступенчатому одномодовому волокну SF. Однако длина безретрансляционного участка при использовании волокна SF будет меньше, чем при использовании NZDSF, или иначе потребуется очень узкая полоса спектрального излучения лазерных передатчиков для уменьшения результирующей хроматической дисперсии.

Максимальное допустимое расстояние определяется техническими характеристиками как самого волокна (затуханием, дисперсией), так и приемопередающего оборудования (мощностью, частотой, спектральным уширением излучения передатчика, чувствительностью приемника).

1.3 Классификация оптических кабелей

Широкое внедрение волоконно-оптических сетей (ВОС) на Взаимоувязанной сети России объясняется возможностью создания ВОС за короткий период времени, низкой стоимостью и высокой надежностью сетей.

Оптический кабель (ОК) может быть проложен по опорам железных дорог, на линиях электропередачи, в силовых кабелях, в канализационных и водопроводных трубах, по руслу рек и дну озер, вдоль автомобильных дорог.

Подразделяют оптические кабели по таким признакам, как:

- назначение и условия применения;

- способ прокладки;
- конструктивные и технологические особенности;
- число ОВ и электрических жил .

В нашей стране требования к ВОК определены соответствующими ГОСТ, которые соответствуют и международным рекомендациям МЭК , хотя требования, предъявляемые к каждой группе кабелей в нашей стране и за рубежом, отличаются в значительной степени как по уровню параметров, так и по их комбинации. Сравнение групп позволяет выделить типовые конструкции, характерные для каждой группы, и провести их анализ. Выбор той или иной конкретной конструкции в пределах одной группы или вида зависит от многих переменных и определяется параметрами системы передачи, внешними воздействиями и стоимостью. Согласно классификации МСЭ-Т оптические кабели можно разделить на кабели для внешней и внутренней прокладки (таблица 1).

Таблица 1 – Кабели для внешней и внутренней прокладки

Внешние кабели: междугородные, межстанционные соединительные и распределительные					Внутренние кабели: у абонента и на станции
Воздушный	Проложенные в грунте	Проложенные в канализации	Проложенные в туннеле	Подводный	Внутри здания

Классификация оптических кабелей для внешней прокладки, т. е. линейных кабелей представлена на рисунке 1.9



Рисунок 1.9 – Классификация ОК для прокладки

Оптические кабели для внутренней прокладки, т. е. внутриобъектовые кабели представлены на рисунке 1.10



Рисунок 1.10 – Классификация ОК для внутренней прокладки

По условиям применения, а соответственно и методам прокладки кабели делятся на подвесные, подземные и подводные.

- прокладка в грунте.



18



Рисунок 1.12- Классификация ОК для подземной прокладки

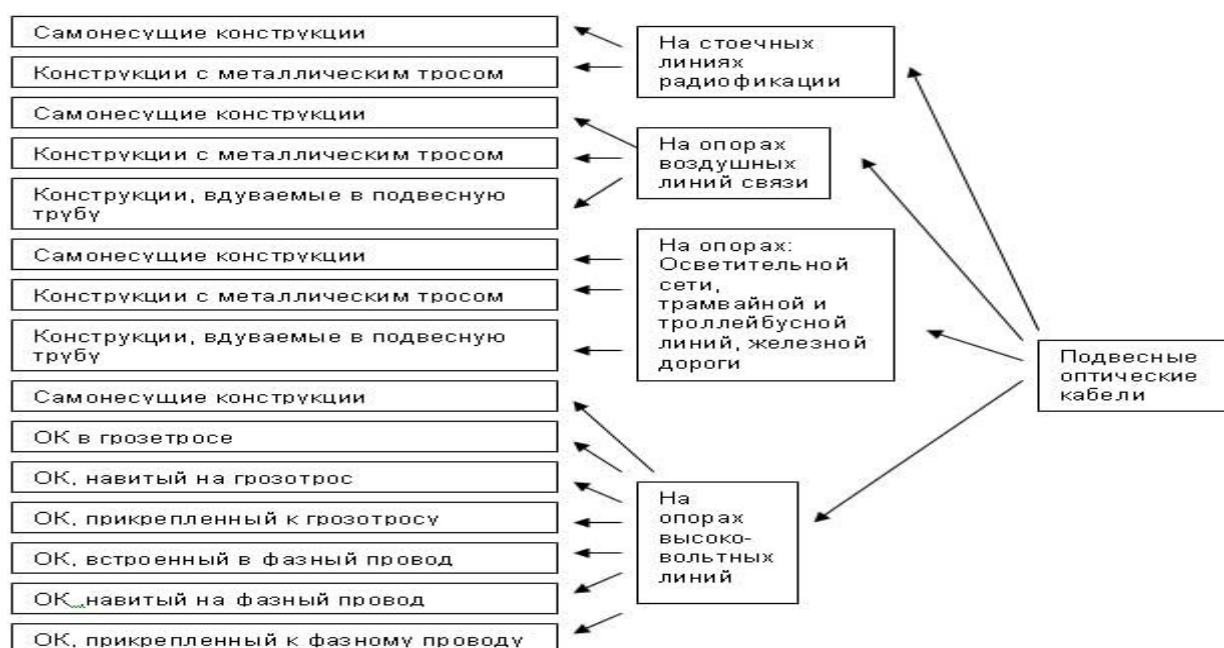


Рисунок 1.13- Классификация подвесных ОК

Конструкция подводных оптических кабелей связи выбирается в зависимости от вида водной системы (река, озеро, залив, островные протоки) и существующего риска, связанного с рыболовством

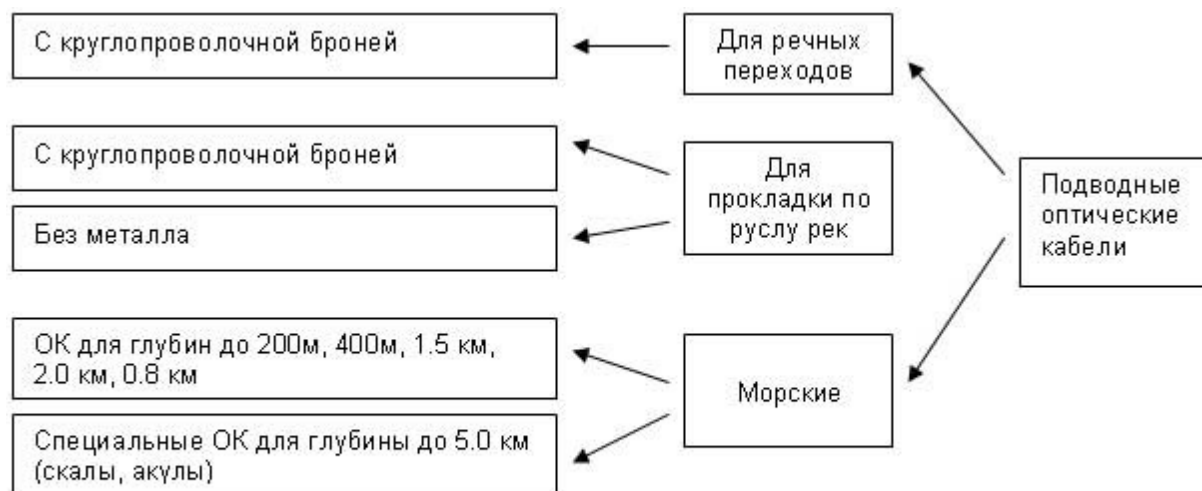


Рисунок 1.14- Классификация подводных ОК

Физика распространения оптического сигнала и физические свойства оптических волокон отличаются от физики распространения электрических сигналов и физических свойств обычных металлических проводников. Однако основное назначение элементов конструкции волоконно-оптического кабеля аналогично назначению элементов конструкций обычных кабелей электросвязи с металлическими проводниками. Оно заключается в том, чтобы сохранять характеристики передачи и механическую прочность волокон стабильными в процессе изготовления, прокладки и эксплуатации кабеля.

Поскольку кабели электросвязи могут подвергаться всевозможным вредным воздействиям в природных условиях и условиях, связанных с деятельностью человека, необходимы конструкции кабелей, которые могли бы выдержать любые воздействия окружающей среды. Волоконно-оптические кабели должны обладать высокой механической и химической прочностью.

Размеры и характеристики оптических волокон, применяемых в электросвязи, должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т приведенным в приложении А

При проектировании волоконно-оптических кабелей должна быть предусмотрена защита волокна от дополнительного затухания и чрезмерной механической деформации при различных условиях эксплуатации, учтены изменения геометрических размеров кабеля, оказывающие влияние на рабочие характеристики волокна. Кроме того, волокно должно быть таким, чтобы легко выполнялись работы по прокладке и сращиванию волокон в кабельных муфтах, а также соединения на стойках при концевой заделке кабелей.

По сравнению с традиционными кабелями электросвязи с металлическими проводниками волоконно-оптические кабели обладают многими достоинствами:

- малые масса и размер;
- возможность прокладки на большие расстояния;
- малые потери;
- отсутствие переходных влияний;
- большая ширина полосы;
- отсутствие влияния электромагнитных полей.

К факторам, которые надо учитывать при проектировании волоконно-оптических кабелей, относятся:

- механические характеристики и характеристики окружающей среды;
- долгосрочная надежность;
- легкость выполнения работ по прокладке и сращиванию;
- применение на сети.

1.4 Методы соединения оптических волокон

Самым важным вопросом передачи информации по ВОЛС является обеспечение надежного соединения оптических волокон. Оптический соединитель – это устройство, предназначенное для соединения различных компонентов волоконно-оптического линейного тракта в местах ввода и вывода излучения. Такими местами являются: оптические соединения оптоэлектронных модулей (приемников и передатчиков) с волокном кабеля, соединения отрезков оптических кабелей между собой, а также с другими компонентами.

Различают неразъемные и разъемные соединители. Неразъемные соединители используются в местах постоянного монтажа кабельных систем. Основным методом монтажа, обеспечивающим неразъемное соединение, является сварка. Разъемные соединители (широко употребляется термин коннекторы, connectors) допускают многократные соединения/разъединения. Промежуточное положение занимают соединения типа механический сплайс.

1.4.1 Разъемные соединители

По конструкции соединения бывают симметричными и несимметричными.

Упрощенные схемы соединений показаны на рисунке 1.15.

При несимметричной конструкции для организации соединения требуется два элемента: соединитель гнездовой и соединитель штекерный, рисунке 1.15, а.

Оптическое волокно в капиллярной трубке коннектора-штекера не доходит до торца капилляра, а остается в глубине. Напротив, волокно в гнездовом соединителе выступает наружу. При организации соединения физический контакт волокон происходит внутри наконечника-капилляра, который обеспечивает соосность волокон. Открытое волокно, и капиллярная полость у этих соединителей являются основными недостатками, снижающими надежность несимметричной конструкции. Особенно

недостатки сказываются при большом количестве переключений. Поэтому такой тип конструкции получил меньшее распространение.

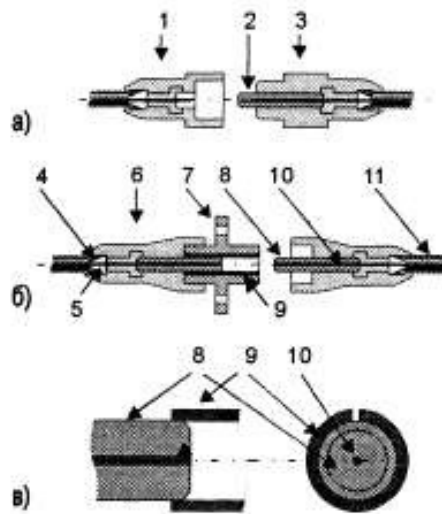


Рисунок 1.15 - Конструкции соединителей: а) несимметричная; б) симметричная; в) наконечник и центратор розетки симметричного соединителя

Обозначения:

- 1 - соединитель гнездовой;
- 2 - наконечник-капилляр;
- 3 - соединитель штекерный;
- 4 - кевларовые нити;
- 5 - эпоксидный наполнитель;
- 6 - соединитель;
- 7 - переходная соединительная розетка (адаптер);
- 8 - оптический наконечник;
- 9 - центрирующий элемент розетки;
- 10 - оптическое волокно;
- 11 - миникабель

При симметричной конструкции для организации соединения требуется три элемента: два соединителя и переходная розетка (coupling), рисунок 1.15, б.

Главным элементом соединителя является наконечник (ferrule). Переходная розетка снабжается центрирующим элементом, выполненным в виде трубки с продольным разрезом – должен быть контакт между наконечником и центрирующим элементом розетки, рисунок 1.15, в. Центрирующий элемент плотно охватывает наконечники и обеспечивает их строгую соосность.

К соединителям предъявляются следующие основные требования:

- малые вносимые потери,
- малое обратное отражение,
- устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям,
- высокая надежность и простота конструкции,
- незначительное ухудшение характеристик после многократных повторных соединений.

1.4.2 Неразъемные соединители

Неразъемные соединители предназначены для соединения оптоволокон при сращивании кабелей в муфтах и при терминировании кабелей в распределительных устройствах. Часто такие соединители называют сплайсами (англ. splice = соединение). Сплайсы бывают двух видов: механические и сварные.

Механический сплайс показан на рисунке 16, на котором изображено его поперечное сечение. В корпусе длиной около 40 мм имеется V-образная центрирующая канавка, заполненная иммерсионным гелем, и пружина, прижимающая к ней оптоволокна. Соединение оптоволокон осуществляется в следующей последовательности.

Волокна «зачищаются» от буферных оболочек, протираются спиртом, скалываются прецизионным скалывателем для получения

перпендикулярного и гладкого торца, вставляются с двух сторон в сплайс до соприкосновения друг с другом и в таком положении фиксируются пружиной. Готовый сплайс размещается в организаторе сплайсов, который, в свою очередь, размещается в шкафу на оптической полке.

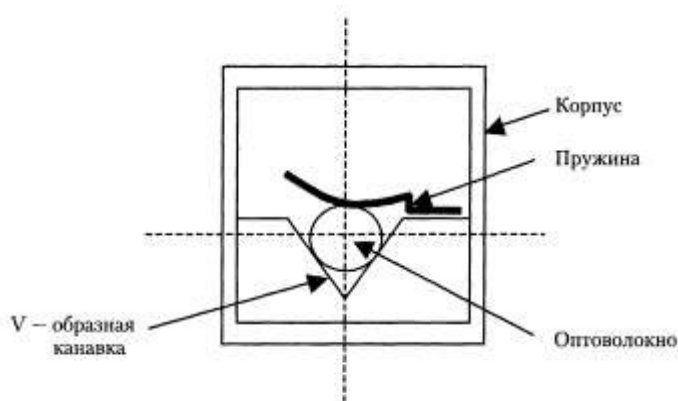


Рисунок 1.16 - Поперечное сечение механического сплайса

Конструкции механических сплайсов не стандартизуются, поскольку при их использовании нет необходимости сочетать детали разных производителей. В связи с этим имеется большое разнообразие конструкций механических сплайсов.

Механические сплайсы могут различаться назначением: одни предназначены для одномодовых, другие – для многомодовых волокон. При этом их конструкции внешне не различаются, а отличие состоит в точности деталей: одномодовые волокна с диаметром 8 мкм необходимо совмещать по оси с точностью не хуже ± 1 мкм, а многомодовые с сердцевинной 50 или 62,5 мкм – с точностью не хуже ± 3 мкм.

Качество оптического соединения в механическом сплайсе зависит от многих факторов: от точности центрирующих устройств и их надежности, от качества геля и т. д., но основным фактором является качество скола оптоволокна. Поэтому при изготовлении механических сплайсов необходимо использовать дорогостоящие прецизионные скалыватели, которые обеспечивают перпендикулярность торца оптоволокна к его оси в пределах

не более $0,5^\circ$. Обычно, потери в механических сплайсах не превышают 0,1 дБ. Иммерсионный гель, имеющий показатель преломления, близкий к показателю преломления стекла, заполняет промежуток между торцами оптоволокон и уменьшает потери на отражение в соединении. Гель достаточно вязок, а канал с двух сторон «заткнут» оптоволоконками, поэтому гель в механическом сплайсе не вытекает и не высыхает. Соединение оптоволокон с помощью механического сплайса является дешевым и доступным способом.

Кроме того, в случае неудачной сборки механический сплайс можно переделать несколько раз. В условиях атмосферы или грунта, а также в линиях связи большой протяженности уровень надежности и потерь механического сплайса становится недостаточным и в этих условиях используют сварной сплайс.

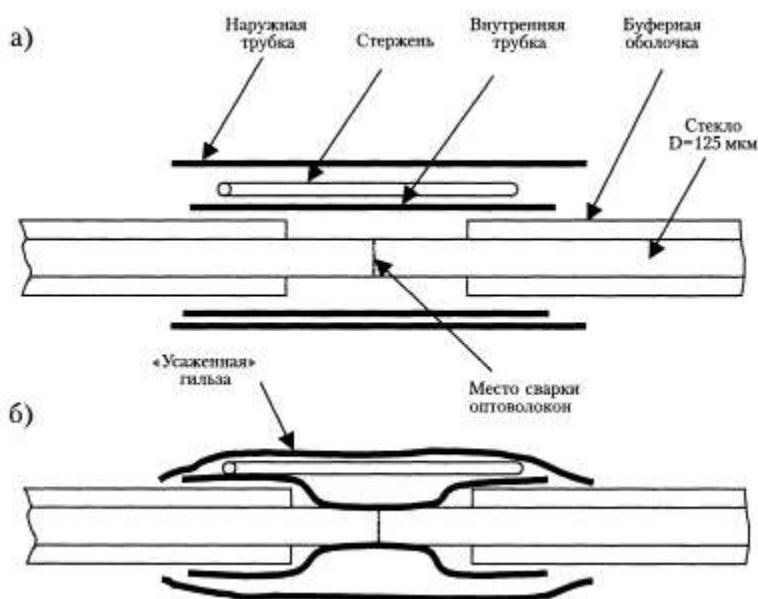


Рисунок 1.17 - Схема сварного сплайса оптоволокон: а) защитная гильза до термоусадки, б) «усаживаемая» гильза

Сварное соединение оптического волокна осуществляется следующим образом. На одно из волокон надевается защитная гильза (англ. protective

sleeve). Гильза состоит из двух коаксиальных трубок из термоусадочной пластмассы длиной 60 мм, между стенками которых расположен металлический стержень чуть меньшей длины с наружным диаметром около 2 мм. (В отечественной практике защитная гильза называется «комплект для защиты сростка» (КДЗС)). Затем оптоволоконна зачищаются от буферных покрытий, скалываются прецизионным скалывателем и размещаются в сварочном аппарате, в котором они свариваются импульсной электрической дугой. На место сварки надвигается защитная гильза и этот участок оптоволокон вместе с гильзой помещается в термостат, где находится 1 – 2 мин. при температуре около 270°C. Изготовленная из термоусадочной пластмассы гильза уменьшается в диаметре, плотно охватывает оптоволоконно и герметизирует его обнаженный участок. Наружная трубка плотно прижимает стержень к месту сварки и он не позволяет изгибать в этом месте сваренные волокна. Остывшая гильза размещается затем в специальном организаторе.

Сварной сплайс обладает малыми (не более 0,01 дБ) потерями, отличается высокой надежностью, изготавливается быстро, но сварка является наиболее дорогим способом соединения оптоволокон: требуется дорогой сварочный аппарат, прецизионный скалыватель и высококвалифицированный оператор.

1.5 Пассивные оптические компоненты систем ВОС

К пассивным компонентам систем ВОС относятся следующие элементы.

Оптический кабель, светонесущими элементами которого являются оптические волокна. Наружная оболочка кабеля может быть изготовлена из различных материалов: поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена, тефлона и других материалов. Оптический кабель может иметь бронирование

различного типа и специфические защитные слои (например, мелкие стеклянные иглы для защиты от грызунов).

Оптическая муфта — устройство, используемое для соединения двух и более оптических кабелей.

Оптический КРОСС — устройство, предназначенное для оконечивания оптического кабеля и подключения к нему активного оборудования.

Волоконно-оптические ответвители и в особенности разветвители, наряду с оптическими кабелями, являются основными элементами пассивных оптических сетей доступа (ПОС), получающих все большее применение. Это главный элемент древовидной топологии ПОС (точка – много точек).

Ответвители по большей части применяются в системах и устройствах контроля параметров и управления оборудованием и систем ВОСП, а также в измерительных приборах для ВОСП, в особенности в оптических рефлектометрах. В соответствии с названием, оптические ответвители выполняют функцию ответвления части энергии светового потока с заданным коэффициентом ответвления. В волноводной технике (а оптическое волокно – это волновод оптического диапазона) ответвители называются направленными, потому что ответвление происходит только при распространении оптического излучения в прямом направлении. При распространении излучения в обратном направлении ответвления не происходит, хотя при этом в точке ответвления часть энергии теряется. В настоящее время существует два типа направленных ответвителей: ответвители Х-типа и Y-типа. Широкое применение получили ответвители Х-типа. На рисунке 1.18, а представлена схема такого направленного ответвителя.

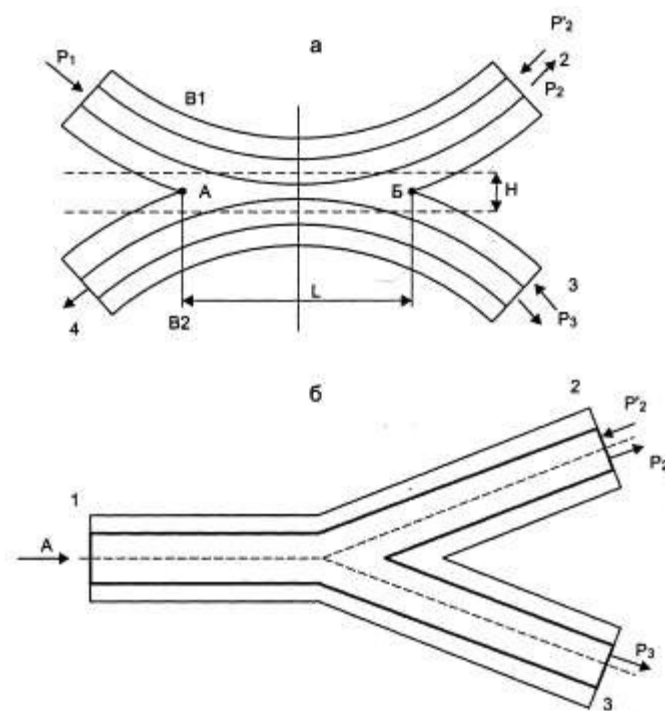


Рисунок 1.18 - Направленный ответвитель X-типа (а) и разветвитель типа Y (б)

Волоконно-оптические переключатели. Изменение архитектуры волоконно-оптических сетей, оперативная маршрутизация в сетях доступа и локальных системах ВОСП невозможны без быстрой и эффективной коммутации оптических информационных потоков. Эта коммутация осуществляется с помощью волоконно-оптических переключателей. Существует довольно большое количество типов волоконно-оптических переключателей: электромеханические, термооптические, акустооптические, электрооптические и переключатели с управлением оптическим же сигналом, основанные на нелинейных явлениях.

Оптические изоляторы или вентили – устройства, пропускающие свет только в одном направлении. Они широко применяются в различных устройствах волоконно-оптических систем, в частности в волоконно-оптических усилителях.

Принцип работы оптического вентиля основан на явлении вращения плоскости поляризации света при прохождении его через некоторые вещества, чувствительные к магнитному полю.

Аттенюаторы используются с целью уменьшения мощности входного оптического сигнала. Такая необходимость может возникнуть как при передаче цифрового, так и аналогового сигнала. При цифровой передаче большой уровень способен привести к насыщению приемного оптоэлектронного модуля.

При передаче аналогового сигнала чрезмерно высокий уровень приводит к нелинейным искажениям и ухудшению изображения. По принципу действия аттенюаторы бывают переменные и фиксированные.

Переменные аттенюаторы допускают регулировку величины затухания в пределах 0-20 дБ для многомодовых и одномодовых волокон с точностью установки величины затухания 0,5 дБ. Регулировка достигается путем изменения величины воздушного зазора. Фиксированные аттенюаторы имеют установленное изготовителем значение затухания, величина которого может составлять 0, 5, 10, 15 или 20 дБ.

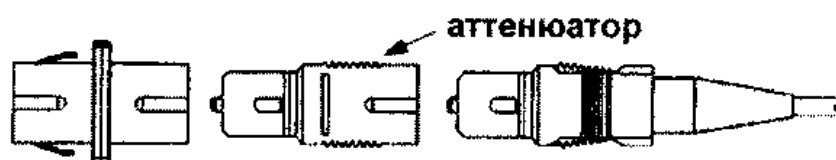


Рисунок 1.19 - Внешний вид аттенюатора-FM розетки стандарта SC

Доступны разнообразные исполнения аттенюаторов: аттенюаторы-шнуры, аттенюаторы-розетки, аттенюаторы-FM розетки.

1.6 Электронные компоненты систем ВОС

К электронным компонентам систем ВОС относятся следующие элементы.

Мультиплексор/Демultipлексор — широкий класс устройств, предназначенных для объединения и разделения информационных каналов. Мультиплексоры и демultipлексоры могут работать как во временной, так и в частотной областях, могут быть электрическими и оптическими (для систем со спектральным уплотнением). Системы ВОЛС с многоволновым уплотнением – WDM, DWDM и CWDM были бы невозможны без устройств объединения пространственно разделенных оптических информационных потоков с λ_1 , λ_2 , и λ_N в один поток с общим направлением (на передаче) и устройств, выполняющих обратную операцию (на приеме). Эта задача решается с помощью мультиплексоров/демultipлексоров. Кроме систем ВОЛС с DWDM, мультиплексоры применяются в волоконно-оптических усилителях, в локальных сетях при волновой маршрутизации и в некоторых других случаях.

По характеру решаемой задачи мультиплексоры можно разделить на два типа:

— мультиплексоры, объединяющие небольшое количество спектральных каналов (не более 4-х) при расстоянии между каналами по длине волны от долей до сотен нм;

— мультиплексоры, объединяющие количество спектральных каналов более 8-ми: 8, 16, 32, 40 – до 160 и более при расстоянии между каналами (частотный интервал или шаг) по длине волны от 0,4 нм до 0,08 – 0,04 нм.

По принципам работы, устройству и технологии изготовления оптические мультиплексоры также можно разделить на два типа: оптические мультиплексоры (ОМ), основанные на использовании дифракционных решеток, ОМ, работа которых основана на свойствах и характеристиках

многослойных оптических интерференционных покрытий – интерференционных фильтров.

Регенератор — устройство, осуществляющее восстановление формы оптического импульса, который, распространяясь по волокну, претерпевает искажения. Регенераторы могут быть как чисто оптическими, так и электрическими, которые преобразуют оптический сигнал в электрический, восстанавливают его, а затем снова преобразуют в оптический.

Усилитель — устройство, усиливающее мощность сигнала. Усилители также могут быть оптическими и электрическими, осуществляющими оптико-электронное и электронно-оптическое преобразование сигнала.

Источник оптического излучения преобразует электрическую энергию возбуждения в энергию оптического излучения заданного спектрального состава и пространственного распределения.

Требования к источникам излучения:

- Совместимость с оптической средой передачи, т. е. длина волны излучения должна соответствовать окнам прозрачности ОВ.
- Высокая мощность излучения и эффективный ввод излучения в волокно.
- Узкая спектральная полоса излучения и высокое быстродействие при модуляции.
- Длительный срок службы (не менее 10^5 часов).
- Устойчивость источника к перегрузкам и изменению параметров окружающей среды.
- Высокая технологичность производства и миниатюрность исполнения.

Указанным требованиям удовлетворяют полупроводниковые источники излучения.

На рисунке 1.20 изображена классификация источников ВОСП.



Рисунок 1.20 – Классификация источников излучения

Светоизлучающие диоды. Принцип действия СИД основан на явлении электролюминесценции, то есть излучения света материалами под действием электрического поля.

Лазерные диоды. Лазер — источник монохромного когерентного оптического излучения. В системах с прямой модуляцией, которые являются наиболее распространёнными, лазер одновременно является и модулятором, непосредственно преобразующим электрический сигнал в оптический.

Лазер – прибор, генерирующий оптическое когерентное излучение на основе эффекта вынужденного или стимулированного излучения. (LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – аббревиатура выражение усиление света вынужденным излучением).

Свойство когерентности излучения лазера предполагает согласованное протекание во времени и пространстве колебательных или волновых процессов. Излучаемая лазером электромагнитная волна называется когерентной, если ее амплитуда, частота, фаза, направление распространения и поляризация постоянны или изменяются упорядоченно.

Модулятор — устройство, модулирующее оптическую волну, несущую информацию по закону электрического сигнала. В большинстве систем эту функцию выполняет лазер, однако в системах с непрямой модуляцией для этого используются отдельные устройства.

Приемники излучения ВОСП. В ВОСП в качестве приемных устройств используются полупроводниковые фотодиоды. Фотодиод преобразует оптическую энергию в электрическую. ФД в наибольшей степени удовлетворяют предъявляемым требованиям к фотоприемным устройствам оптических систем.

Требования к фотоприемным устройствам ВОСП:

- Для получения эффективного оптоэлектронного преобразования спектральные характеристики фотоприемника и источника должны быть согласованы.

- При преобразовании фотоприемник должен вносить минимально возможные шумы и искажения, то есть иметь низкий уровень шумов, обладать требуемой чувствительностью, быстродействием и динамическим диапазоном.

- Конструкция фотоприемника должна обеспечивать надежное соединение с оптическим волокном.

- Длительный срок службы и возможность использования в интегральных схемах.

Наибольшее применение в ВОСП получили р-і-n фотодиоды (PIN), лавинные фотодиоды (ЛФД, APD).

Принцип действия любого фотодиода основан на внутреннем фотоэффекте, который заключается в увеличении электропроводности вещества при его освещении. В фотопреобразовательном режиме последовательно с ФД включается внешний источник энергии, смещающий диод в обратном направлении.

Ретрансляторы ВОСП. В общем случае, ретранслятор выполняет функцию усиления оптического сигнала, и дополнительно (при цифровой передаче) может восстанавливать форму импульсов, уменьшать уровень шумов и устранять ошибки – такой ретранслятор называют регенератором.

Современные высокоскоростные ВОСП отличаются не только большими скоростями передачи (до STM-64), но и большими длинами безрегенерационных участков. Это стало возможным благодаря применению оптических усилителей (ОУ).

К усилителям, которые используются в ВОСП, предъявляется ряд требований:

- высокий коэффициент усиления в заданном диапазоне оптических частот;
- малые собственные шумы;
- нечувствительность к поляризации;
- хорошее согласование с волоконно-оптическими линиями;
- минимальные искажения оптических сигналов;
- большой динамический диапазон входных сигналов;
- требуемое усиление мнговолновых оптических сигналов;
- длительный срок службы.

В качестве активной среды используются полупроводники или ОВ с примесями. В перспективе предполагается использование обычного волокна, работающего в нелинейном режиме.

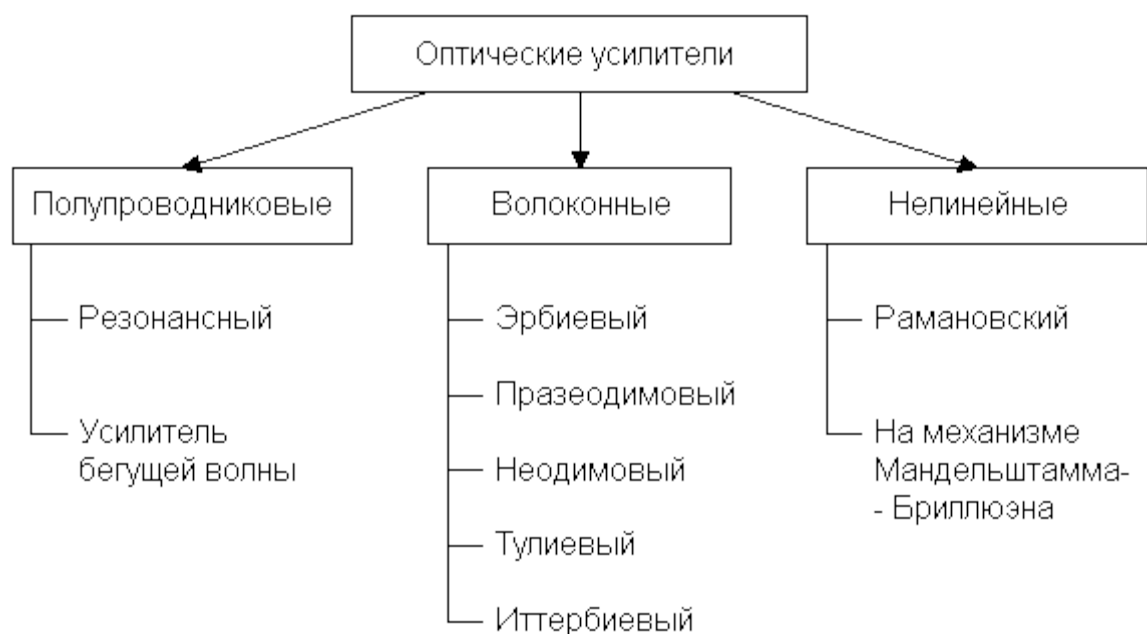


Рисунок 1.21 – Классификация оптических усилителей

В настоящее время применение получили полупроводниковые (ППОУ) и волоконно-оптические усилители (ВОУ).

2 Измерения параметров волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)

2.1 Метод оптического рефлектометра

Метод оптического рефлектометра (метод OTDR – optical time domain reflectometer) предназначен, в первую очередь, для оценки распределения потерь по оптической длине волокна и определения местонахождения отдельных неоднородностей.

Метод заключается в том, что в оптическое волокно вводится импульс света, который, при распространении вызывает рассеяние Рэлея, вызванное неупорядоченностью структуры стекла и микроскопическими изменениями его состава, приводящими к небольшим изменениям показателя преломления, распределенным по длине волокна. Такое рассеяние является основной причиной потерь в кварцевых волокнах. Часть рассеяния Рэлея распространяется в обратном направлении к источнику, в результате чего его можно принять и обработать.

Таким образом, вводя в волокно оптический импульс и принимая отраженное от неоднородностей показателя преломления излучение, вызванное этим импульсом, можно получить карту распределения различных неоднородностей по длине волокна, обычно называемую рефлектограммой.

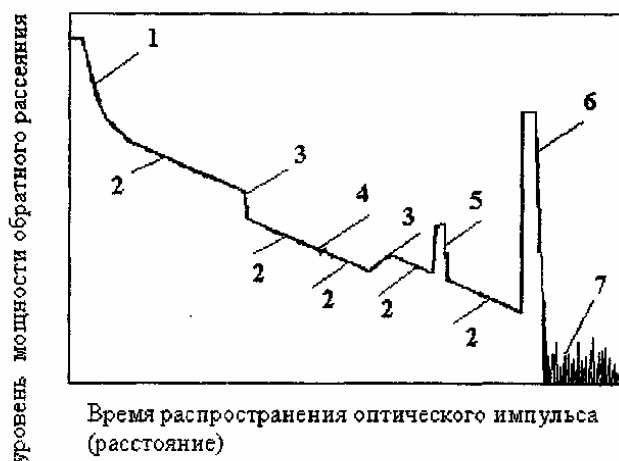


Рисунок 2.1 Типичный вид рефлектограммы

Основное преимущество применения приборов OTDR заключается в том, что измерения можно проводить, располагаясь с прибором на одном конце волокна.

Однако наряду с этим достоинством, метод имеет и определенные недостатки.

Во-первых, это наличие «мертвой зоны» - участка волокна, располагающегося непосредственно у прибора, на котором измерения невозможны;

во-вторых, недостаточная точность рефлектометра;

в-третьих, небольшой динамический диапазон;

в-четвертых, высокая стоимость измерительного прибора.

Кроме того, оптическое волокно может обладать разными потерями при передаче сигналов с той или с другой стороны, что приводит к необходимости проведения двухсторонних измерений, а это ликвидирует одно из основных преимуществ приборов OTDR. Другим основным преимуществом наряду с односторонними измерениями является наглядность получаемых результатов.

2.2 Метод вносимых потерь

Базовая схема измерений потерь приведена на рисунке 2.2

Потери в измеряемом устройстве рассчитываются по формуле:

$$\alpha = P_0 - P_1, \quad (2.1)$$

где α – затухание, дБ;

P_0 – уровень сигнала на выходе, дБм;

P_1 – уровень сигнала на входе, дБм

а)



б)

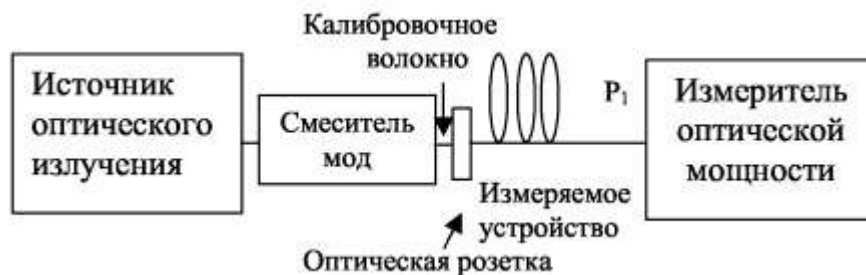


Рисунок 2.2 - Основная схема проведения измерений ослабления сигнала методом вносимых потерь: а) калибровка измерителя перед началом измерений; б) проведение измерений

Смеситель мод – специальное устройство, предназначенное для выравнивания оптических мощностей отдельных мод и установления режима равновесного распределения энергетики мод – RPPM. Методики измерения затухания требуют обязательного применения смесителей при проведении любых измерений, в том числе и при измерении потерь с помощью импульсного оптического рефлектометра. Этому же требуют и действующие в России ГОСТы. Примем это за обязательное условие, и в нижеследующих схемах будем иметь в виду присутствие смесителя, не изображая его.

В качестве источника излучения применяют светодиод или лазер с фиксированной длиной волны или лампу белого света с монохроматором при измерении спектральных потерь на отдельных длинах волн.

В приведенной выше схеме на рисунке 2.1, а. в целом обеспечиваются условия ввода оптического излучения в измеряемое волокно. Считается, что для большинства случаев таких условий ввода вполне достаточно. Однако, после присоединения измеряемого устройства к калибровочному волокну, условия ввода излучения могут измениться. Это происходит потому, что при

проведении калибровки по рисунку 2.1,а, свет из волокна полностью попадает на фоточувствительную площадку измерителя. Получается, при подключении измеряемого устройства в него, вследствие неточной юстировки или различий в геометрии сердцевин волокон, в измеряемое волокно может попасть не вся, а лишь часть мощности, вышедшей из калибровочного волокна.

Для того чтобы снизить, а в некоторых случаях и полностью компенсировать такую погрешность, желательно схему рисунку 2.1, а несколько усложнить, как показано на рисунке 2.2.

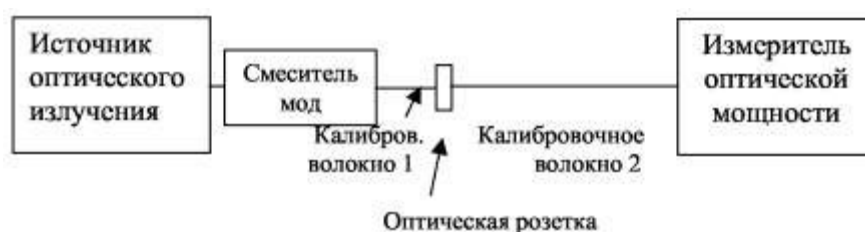


Рисунок 2.2 - Усовершенствованная схема калибровки измерителя.

Измеряемое устройство включается в разрыв между двумя калибровочными волокнами. При этом как калибровочные волокна, так и измеряемое устройство по возможности должны быть выполнены из одного и того же волокна (если измеряемое устройство является волокном). При таком включении появляются две оптических розетки, каждая из которых вносит определенные паспортные потери. Эти потери могут быть впоследствии учтены и исключены из результатов.

2.3 Метод обрыва

Приведенные выше схемы предназначены для проложенного волокна, оконцованного с обеих сторон стандартными коннекторами. Но во многих случаях требуется измерить потери в неоконцованном волокне, которое, к тому же, не имеет хорошо обработанных торцов. В таких случаях приходится

применять другой метод измерения и принимать специальные меры по подготовке торцов. При этом используют так называемый «метод обрыва».



Рисунок 2.3 - Измерение потерь методом обрыва: а) измерение полных потерь в измеряемом устройстве; б) обрыв волокна вблизи источника; в) измерение введенной в тестируемое волокно мощности

Точность измерения потерь методом обрыва существенно выше, чем методом вносимых потерь, поскольку при измерении введенной в волокно мощности вся она попадает на фоточувствительную площадку измерителя, размеры которой достаточно велики по сравнению с диаметром оптического волокна (1-5 мм и 10 – 50 – 62,5 мкм соответственно). Кроме того, в данном методе отсутствует разброс параметров на первом стыке (на оптической розетке, см. рисунок 2.2), возникающий при переключении шнуров и волокон.

Список используемых источников

1 ГОСТ Р 54720-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Железнодорожная электросвязь. Правила подвески самонесущего волоконно-оптического кабеля на опорах контактной сети железной дороги и линий электропередачи напряжением выше 1000 В .Дата введения –01.07.2012г.

2 НТП ЦТКС-ФЖТ-2002. Нормы технологического проектирования телекоммуникационных сетей на федеральном железнодорожном транспорте. Дата введения 01.01.2003г.

3 СТН ЦЭ 141-99 Нормы проектирования контактной сети. Утверждены указанием МПС РФ № М-771у от 26.04.2001 г.

4 РД 45.180-2001 Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптической линии передачи. Дата введения 2001-05-28

5 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: распоряжение ОАО «РЖД» от 13 мая 2011г. №1065р [Текст]: нормативно-технический материал.– М.: ООО «ТРАНСИНФО ЛТД», 2011. - 89с.

6 Айбатов, Д.Л.Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС: Конспект лекций [Текст] / Д.Л.Айбатов, Л.Р.Айбатов - Казань: КНИТУ-КАИ, 2013. – 167 с.

7 Татаркина, О.А. Волоконно-оптические системы передачи: Конспект лекций [Текст] /О.А. Татаркина. - Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2008. – 160 с.

8 Технология строительства ВОСП [Текст]: Учебное пособие для вузов / В.А. Андреев, В.А.Бурдин, Б.В.Попов, В.Б. Попов, под ред. В.А. Андреева. – Самара, СРТТЦ ПГАТИ, 2006. – 374 с.: ил.

9 Монтаж муфт и оконечных устройств волоконно-оптических кабелей [Текст]: Учебное пособие для вузов / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, Б.В. Попов и др.— Самара, СРТТЦ ПГАТИ, 2006. – 159 с.: ил.

10 Основы технической эксплуатации ВОСП [Текст]: Учебное пособие для вузов / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, А.А. Воронков и др.— Самара, СРТТЦ ПГАТИ, 2007. – 216 с.: ил.

11 Гитин, В.Я. Волоконно-оптические системы передачи [Текст]: Учебное пособие для техникумов связи./ В.Я.Гитин, Л.Н. Кочановский.— М.: Радио и связь, 2003. – 128 с.: ил.

12 Залялов, Р.Г. Проектирование оптоволоконных направляющих систем электросвязи: Учебное пособие. / Р.Г. Залялов, О.В. Потапова, В.Н. Лаврушев . - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2002. – 118 с.

13 Иоргачев, Д.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. [Текст] / Д.В Иоргачев. – М.: ЭКО- ТРЕНДЗ, 2002. – 284 с.

14 Портнов, Э.Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики. [Текст] / Э.Л. Портнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 232 с.: ил.

15 Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи [Текст] / О.К.Скляров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2001. – 237 с: ил. – (Серия —Библиотека инженера)

16 Слепов, Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных систем связи. [Текст] / Н.Н. Слепов. – М.: Радио и связь, 2000. – 486 с.: ил.

17 Убайдуллаев, Р.Р. Волоконно-оптические сети. [Текст] / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 266 с.

18 Бутусов, М.М. Волоконно-оптические системы передачи [Текст] : Учебник для вузов/ М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин; под ред. В. Н. Гомзина. – М.: Радио и связь, 1992. – 340 с.

19 Оптические системы передачи [Текст] :Учебник для вузов/ Под ред. Иванова В.И.- М.: Радио и связь, 1994. - 220с.

20 Железнодорожная связь[Электронный ресурс]: Официальный сайт ОАО РЖД - режим доступа:<http://rzd.company/index.php/>- свободный

Приложение А

Стандарты оптических волокон в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т

G.652 - Стандартное одномодовое волокно

Является наиболее широко используемым одномодовым оптическим волокном в телекоммуникациях.

Одномодовое ступенчатое волокно с несмещенной дисперсией служит основополагающим компонентом оптической телекоммуникационной системы и классифицируется стандартом G.652. Наиболее распространенный вид волокна, оптимизированный для передачи сигнала на длине волны 1310 нм. Верхний предел длины волны L-диапазона составляет 1625 нм. Требования на макроизгиб - радиус оправки 30 мм.

Стандарт разделяет волокна на четыре подкатегории А, В, С, D.

Волокно G.652. А отвечает требованиям, необходимым для передачи информационных потоков уровня STM 16, - 10 Гбит/с (Ethernet) до 40 км, в соответствии с Рекомендациями G.691 и G.957, а также уровня STM 256, согласно G.691.

Волокно G.652.В соответствует требованиям, необходимым для передачи информационных потоков уровня до STM 64 в соответствии с Рекомендациями G.691 и G.692, и уровня STM 256, согласно G.691 и G.959.1.

Волокна G.652.С и G.652.D позволяют осуществлять передачу в расширенном диапазоне длин волн 1360-1530 нм и обладают пониженным затуханием на "пике воды" ("пик воды" разделяет окна прозрачности в полосе пропускания одномодовых световодов в диапазонах 1300 нм и 1550 нм). В остальном аналогичны G.652.А и G.652.В.

G.652.А/В - эквивалент OS1 (классификация ISO/IEC 11801), G.652.С/D – эквивалент OS2.

Использование волокна — G.652 при более высоких скоростях передачи на расстояния более 40 км приводит к несоответствию

эксплуатационных качеств со стандартами для одномодового волокна, требует усложнения оконечной аппаратуры.

G.655 - Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией(NZDSF)

Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF оптимизировано для передачи не одной длины волны, а сразу нескольких длин волн (мультиплексного волнового сигнала WDM и высокоплотного волнового сигнала DWDM). Волокно Corning защищено двойным акрилатным покрытием CPC, обеспечивающим высокую надежность и работоспособность. Наружный диаметр покрытия равен 245 мкм.

Волокно с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF) предназначено для применения в магистральных волоконно-оптических линиях и глобальных сетях связи, использующих DWDM-технологии. В этом волокне поддерживается ограниченный коэффициент хроматической дисперсии во всем оптическом диапазоне, используемом в волновом мультиплексировании (WDM). Волокна NZDSF оптимизированы для использования в диапазоне волн от 1530 нм до 1565 нм.

Рекомендации разделяют волокна на три подкатегории - А, В, С, которые различаются по значениям коэффициента поляризационной модовой дисперсии, хроматической дисперсии и рабочему диапазону.

Оптические волокна категории G.655.A обладают параметрами, обеспечивающими их применение в одноканальных и многоканальных системах с оптическими усилителями (Рекомендации G.691, G.692, G.693) и в оптических транспортных сетях (Рекомендация G.959.1). Рабочие длины волн и дисперсия в волокне данной подкатегории ограничивают мощность входного сигнала и их применение в многоканальных системах.

Оптические волокна категории G.655.B аналогичны G.655.A. Но в зависимости от рабочей длины волны и дисперсионных характеристик мощность входного сигнала может быть выше, чем для G.655.A. Требования

в части поляризационной модовой дисперсии обеспечивают функционирование систем уровня STM-64 на расстоянии до 400 км.

Категория волокон G.655.C подобна G.655.B, однако более строгие требования в части поляризационной модовой дисперсии позволяют использовать на данных оптических волокнах системы уровня STM-256 (Рекомендация G.959.1) или же увеличивать дальность передачи систем STM-64.

G.657 - Одномодовое волокно с уменьшенными потерями на изгибах с малыми радиусами

Оптическое волокно повышенной гибкости версии G.657 находит широкое применение в оптических кабелях для прокладки в сетях многоэтажных домов, офисов и т.д. Волокно G.657.A по своим оптическим характеристикам полностью идентично стандартному волокну G.652.D и в то же время имеет вдвое меньший допустимый радиус при укладке – 15 мм. Волокно G.657.B применяется на ограниченных расстояниях и обладает особо малыми потерями на изгибах.

Одномодовые оптические волокна характеризуются малым уровнем потерь на изгибах, предназначены в первую очередь для сетей FTTH многоквартирных зданий, а их преимущества особенно очевидны на ограниченном пространстве. Работать с волокном стандарта G.657, можно практически как с медножильным кабелем.

Две подкатегории: А и В, которые различаются диаметром сердцевины и работоспособностью при изгибах.

Для волокон типа G.657.A он составляет от 8,6 до 9,5 мкм, а для волокон типа G.657.B - от 6,3 до 9,5 мкм.

Нормы потерь на макроизгибах существенно ужесточены, поскольку этот параметр для G.657 является определяющим:

— Десять витков волокна подкатегории G.657.A, намотанного на оправку радиусом 15 мм, не должны увеличивать затухание более чем на 0,25 дБ при длине волны 1550 нм. Один виток того же волокна, намотанного на

оправку диаметром 10 мм, при условии, что остальные параметры не изменены, не должен увеличивать затухание более чем на 0,75 дБ.

— Десять витков подкатегории G.657.B на оправке диаметром 15 мм, не должны увеличивать затухание более чем на 0,03 дБ при длине волны 1550 нм. 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.

Рекомендация: ITU G.657.A определяет приоритет совместимости со стандартными волокнами по отношению к функциональности (с ITU-T G.652D).

Рекомендация: ITU-T G.657.B делает упор на нечувствительность к изгибам, а не на соответствие требованиям стандартов G.652.