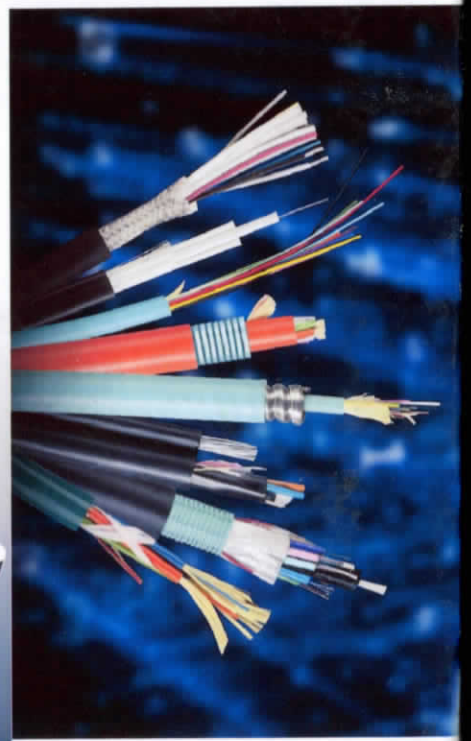
Т.З.ТЕШАБАЕВ, Н.ХОДЖАЕВ, Д.А.МИРЗАЕВ

СЕТИ И СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ



МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ

Т.З.ТЕШАБАЕВ, Н.ХОДЖАЕВ, Д.А.МИРЗАЕВ

СЕТИ И СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

(Учебное пособие)

ТАШКЕНТ – 2020

УДК: 621.391.63(075.8)
ББК: 32.88
Т 387
Т.З.Тешабаев, Н.Ходжаев, Д.А.Мирзаев. Сети и системы оптической связи. (Учебное Пособие). – Т.: «Aloqachi», 2020. 352 с.

ISBN 978–9943–6396–5–2

Отчет содержит 352 стр., 133 рис., 4 приложений, глоссарий, тесты, раздаточный материал, 22 наименований использованной литературы. Приводятся основные понятия и термины ВОЛС, история развития ВОЛС, общие сведения об оптической связи, структура оптических сетей а также современное состояние и перспективы развитиия ВОЛС в Узбекистане. Описываются типы, характеристики, параметры и классификация оптических волокон, оптоэлектронные компоненты волоконно-оптической сети связи Приведены классификация оптических кабелей, разъемныне и неразъемные соединения ОВ –их склеивание, сварка, их конструкция и виды оптических муфт. Оптические кроссы: назначение, виды и элементы конструкций Оптические разветвители. Мультиплексоры, демультиплексоры, оптические модуляторы, коммутаторы, изоляторы. Измерения в оптических линиях связи, виды измерений. Прокладка оптических кабелей в грунте и подвеска на воздушно-столбовые опоры. Изучение технологии прокладки оптического кабеля внутри здания. Основы технического обслуживания оптических сетей связи. Основные принципы строительство ВОЛС, прокладка оптических кабелей в грунте и подвеска на воздушно-столбовые опоры. Изучение технологии прокладки оптического кабеля внутри здания основы технического обслуживания оптических сетей связи организация связи по волоконно-оптическим линейным трактам.

Учебное пособие написано в соответствии с типовыми учебными планами подготовки специалистов средне-технического персонала отрасли связи и охватывает основные направления построения и развития оптических систем передачи и сетей связи.

УДК: 621.391.63(075.8)
ББК: 32.88

Рецензенты:

Ш.Ю.Джаббаров – доцент, к.т.н.;

Д.Ю.Юнусов – доцент, к.т.н..

ISBN 978–9943–6396–5–2

© Издательство «Aloqachi», 2020.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие средств связи страны имеет большое значение для эффективного управления народным хозяйством, четкой работы государственного аппарата, всестороннего удовлетворения культурно-бытовых потребностей населения и повышения обороноспособности страны.

Магистральная сеть связи страны на современном этапе развития базируется на комплексном использовании кабельных, радиорелейных и спутниковых линий связи. При рациональном использовании эти линии дополняют и резервируют друг друга, обеспечивая передачу больших потоков информации любого назначении при заданном качестве. Особое место занимают кабельные линии связи, обладающие хорошей защищенностью каналов связи от атмосферных влияний и различных помех, возможностью использования в широком диапазоне частот и высокой эксплуатационной устойчивостью и долговечностью. Эти качества наиболее полно проявляются на современном этапе развития техники кабелей связи, характеризующимся применением многоканальных систем высокочастотной связи и телевидения.

Одним из важнейших достижений последнего времени в области связи является появление оптических кабелей (ОК) и волоконно-оптических систем передачи (ВОСП), которые по своим характеристикам превосходят все традиционные кабели и системы связи. Оптические системы и кабели используют не только для организации телефонной городской и междугородной связи, но и для кабельного телевидения, видеотелефонии, радиовещания, вычислительной техники, технологической связи и т.д. Кроме того, они получили применение в машиностроении, медицине, для связи с подвижными объектами, в энергосистемах.

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT
AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
SAMARQAND FILIALI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
№ 18009

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Волоконно-оптические системы связи **(ВОС)** – комплекс технических средств работающих на основе волоконно-оптического кабеля.

Волоконно-оптическая линия связи **(ВОЛС)** –линия связи работающая на основе волоконно-оптического кабеля.

Волоконно-оптический кабель **(ВОК)** – кабель который состоит из оптических прозрачного материала.

Оптическое волокно**(ОВ)** - это диэлектрическая структура, по которой распространяется оптический сигнал.

Волоконная оптика- раздел прикладной науки и машиностроения, описывающий волокна из оптического прозрачного материала.

Сердцевина - световедущая жила, по которой, в основном, распространяется оптический сигнал.

Цифровая система передачи**(ЦСП)** – комплекс технических средств, предназначенных для образования типовых цифровых каналов и трактов линейного тракта, обеспечивающего передачу цифровых сигналов электросвязи.

Цифровой сигнал – сигнал, параметры которого характеризуются конечным множеством возможных дискретных значений и описываются функциями дискретного времени.

Цифровой типовой тракт – комплекс технических средств, обеспечивающий организацию основных цифровых каналов со скоростью передачи, соответствующей данному тракту, структура и параметры которого соответствуют принятым нормам.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Транспортная сеть – та часть сети связи, которая выполняет функции переноса (транспортирования) потоков сообщений от их источников из одной сети доступа получателям сообщений другой сети доступа.

Первичные сети – предназначены для организации и предоставления во вторичные сети типовых сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических сетей.

Вторичные сети – для транспортировки, коммутации и распределения сигналов в службах электросвязи.

АТС- Автоматическая телефонная станция

ВОЛС- Волоконно-оптическая линия связи

ОК- Оптический кабель

Пигтейл- Волоконно-оптический шнур, оконцованный коннектором с одной стороны

Патчкорд- Волоконно-оптический шнур, оконцованный коннекторами с двух сторон

ADSS-Полностью диэлектрический самонесущий кабель

APC-Угловой физический контакт

ATM -Режим асинхронной передачи

CATV-Кабельное телевидение

CWDM-Грубое волновое мультиплексирование

DWDM- Плотное волновое мультиплексирование

FCP-Точка концентрации волокон

FBT- Сплавной биконический ленточный (сплиттер)

FDH -Оптический распределительный узел

FTTC- Волокно до шкафа

FTTB- Волокно до дома

FTTH- Волокно до абонента (в квартиру)

FTTN- Волокно до узла

FTTx-Общий термин для всех технологий «волокно – до – точки х»

HDPE- Полиэтилен высокой плотности

IL- Вносимые потери оптического сигнала

ISO-Международная организация по стандартизации

IEC- Международная Электротехническая Комиссия

ITU-T -Международный Союз Электросвязи

LAN- Структурированные кабельные сети (СКС)

LSZH-Не распространяющий горение и не выделяющий галогены материал

MDU- Многоэтажное и многоквартирное здание

ODF- Оптическая панель

OLT-Оптический линейный терминал

ONU-Оптическое сетевое устройство

ONT-Оптический сетевой терминал

OPGW- Оптический кабель, интегрированный в грозозащитный трос

OTDR-Оптический рефлектометр

PON-Пассивная оптическая сеть
POP-Точка присутствия (или сетевой узел/узел агрегации)
PVC-Поливинилхлорид
RL-Обратные потери
UPC-Физический контакт с ультраполировкой
UPC- Устройство для обеспечения бесперебойного электропитания

ВВЕДЕНИЕ

Оптическое волокно (ОВ) в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Сегодня волоконная оптика находит применение практически во всех задачах, связанных с передачей информации.

Широкомасштабное использование волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) началось примерно 40 лет назад, когда прогресс в технологии изготовления волокна позволил строить линии большой протяженности. Сейчас объемы инсталляций ВОЛС значительно возросли. В межрегиональном масштабе следует выделить строительство волоконно-оптических сетей синхронной цифровой иерархии (SDH).Интерес к SDH обусловлен тем, что эта технология пришла на смену импульсно-кодовой модуляции PCM (ИКМ) и плезиохронной цифровой иерархии PDH (ПЦИ) и стала интенсивно внедряться в результате массовой установки современных зарубежных цифровых АТС, позволяющих оперировать потоками 2 Мбит/с, и создания в регионах локальных колец SDH.

Синхронная цифровая иерархия (СЦИ) обладает существенными преимуществами по сравнению с системами предшествующих поколений, позволяет полностью реализовать возможности волоконно-оптических и радиорелейных линий передачи (ВОЛП и РРЛП) и создавать гибкие, удобные для эксплуатации и управления сети, гарантируя высокое качество связи. Таким образом, концепция SDH позволяет оптимально сочетать процессы высококачественной передачи цифровой информации с процессами автоматизированного управления, контроля и обслуживания сети в рамках единой системы.

Системы СЦИ обеспечивают скорости передачи от 155 Мбит/с и выше и могут транспортировать как сигналы существующих цифровых систем так и новых перспективных служб, в том числе широкополосных. Аппаратура СЦИ является программно-управляемой и интегрирует в себе средства преобразования, передачи, оперативного переключения, контроля, управления.

Благодаря появлению современных волоконно-оптических кабелей (ВОК) оказались возможными высокие скорости передачи в линейных трактах (ЛТ) цифровых систем передачи с

одновременным удлинением секций регенерации до 100 км и более. Производительность таких ЛТ превышает производительность цифровых трактов на кабелях с металлическими парами в 100 и более раз, что радикально увеличивает их экономическую эффективность. Большинство регенераторов оказывается возможным совместить с оконечными или транзитными станциями. Из этого следует, что СЦИ – это не просто новые системы передачи, это и принципиальные изменения в сетевой архитектуре, организации управления. Внедрение СЦИ представляет собой качественно новый этап развития цифровой сети связи.

Стремительно входят в нашу жизнь волоконно-оптические интерфейсы в локальных и региональных сетях Ethernet, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM.

В настоящее время по всему миру поставщики услуг связи прокладывают за год десятки тысяч километров волоконно-оптических кабелей под землей, по дну океанов, рек, на ЛЭП, в тоннелях и коллекторах. Множество компаний, в том числе крупнейшие: IBM, Lucent Technologies, Nortel, Corning, Alcoa Fujikura, Siemens, Pirelli ведут интенсивные исследования в области волоконно-оптических технологий. К числу наиболее прогрессивных можно отнести технологию сверхплотного волнового мультиплексирования по длине волны DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), позволяющую значительно увеличить пропускную способность существующих волоконно-оптических магистралей.

Область возможных применений ВОЛС весьма широка — от линии городской и сельской связи и бортовых комплексов (самолеты, ракеты, корабли) до систем связи на большие расстояния с высокой информационной емкостью. На основе оптической волоконной связи могут быть созданы принципиально новые системы передачи информации. На базе ВОЛС развивается единая интегральная сеть многоцелевого назначения. Весьма перспективно применение волоконно-оптических систем в кабельном телевидении, которое обеспечивает высокое качество изображения и существенно расширяет возможности информационного обслуживания абонентов.

Многоканальные ВОСП широко используются на магистральных и зоновых сетях связи страны, а также для устройства соединительных линий между городскими АТС.

Объясняется это тем, что по одному ОВ может одновременно распространяться много информационных сигналов на разных длинах волн, т.е. по оптическим кабелям (ОК) можно передавать очень большой объем информации. Особенно эффективны и экономичны подводные оптические магистрали.

В волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) цифровые системы передачи нашли самое широкое распространение как наиболее приемлемые по своим физическим принципам для передачи.

На основе ОК создаются локальные вычислительные сети различной топологии (кольцевые, звездные и др.). Такие сети позволяют объединять вычислительные центры в единую информационную систему с большой пропускной способностью, повышенным качеством и защищенностью от несанкционированного допуска и на сегодняшний день ВОК удовлетворяет потребности рынка.

I. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВОЛС. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Основные этапы развития линий связи. Эволюция проводных линий связи

Первым, кто пришел к мысли о передаче электрических зарядов на большие расстояния был профессор физиологии Лейпцигского университета Иогани Винклер. Он считал, что с «помощью изолированного подвешенного проводника возможна передача электричества на «край света» и что благодаря этому оно станет «осязаемым».

Первым, кто в 1780 г заговорил о технологии изготовления изолированных проводов был итальянский ученый Тиберио Кавалло. Он предлагал натянутую отожженную медную или латунную проволоку нагревая покрывать смолой, и обматывать полотняной лентой, также покрытой смолой. Дополнительно изолированная проволока защищалась чехлом из шерсти. Места соединения отрезков проводов между собой следовало тщательно обматывать промасленным шелком (муфта).

В 1795г испанский врач Франсиско Сальва доложил Барселонской академии наук о рекомендуемой им линии связи. «Нет необходимости поддерживать проволоки удаленными друг от друга, они могут быть скручены в кабель и подвешены на высоте. Каждая проволока обматывается пропитанной смолой бумагой. Затем все вместе проволоки скручиваются и обматываются многими слоями бумаги. Таким образом предотвращается утечка электричества.

1816г, Англия, проложена первая опытная подземная линия связи. В траншею, глубиной 1,2м. был уложен пропитанный смолой деревянный желоб. На дне желоба были расположены стеклянные трубки с пропущенными через них медными проволоками.

1840г Англия, проложена телеграфная линия длиной в 30км в чугунных трубах. Были предложения использовать асфальтовые или глиняные трубы и прокладывать их на глубине 0,9м.

1841г, Россия. Якоби проложил телеграфную линию между Зимним дворцом и зданием Главного штаба в Петербурге. Токопроводящие жилы из отожженной мягкой медной проволоки диаметром 3мм изолировались хлопчатобумажной пряжей в два слоя с последующей пропиткой мастикой из воска, сала и

канифоли. Изолированные жилы затягивались в последовательно соединенные узкие жестяные гильзы.

1844г, США. По проекту Морзе была сделана попытка прокладки многожильного кабеля в свинцовой трубе. Был даже сконструирован (инженером Эзрой Корнеллом) специальный плуг, который рыл траншею, укладывал в нее кабель и закапывал траншею (это был первый в мире кабелеукладчик).

В 1881г на Международной Электротехнической выставке в Париже Шиллингом, изобретателем электромагнитного телеграфа, экспонировался образец кабельного изделия. Изделие именовалось телеграфным кабелем и состояло из восьми медных проводов, каждый из которых был изолирован слоем каучуковой массы, а все вместе снаружи обернуты лентой, пропитанной каучуком.

Хотя в то время еще не умели производить электрические измерения изоляции, тем не менее Шиллинг установил, что изоляция даже самых лучших образцов его кабеля, проложенного в земле или в воде, сравнительно быстро теряет свои свойства, чем, безусловно, уступает «воздушной» изоляции «голых» проводов, подвешенных на изоляторах, укрепленных на столбах, предложенной им в 1835г, для проведения электрического провода.

На долгие годы линии связи оставались воздушными, зато гуттаперчевая изоляция кабелей нашла широкое применение в подводных кабелях.Первые кабели через водные преграды прокладывали на высоких шестах, установленных на дне водоемов. В конце 1840г были проведены первые опыты по прокладке изолированных гуттаперчей проводов. Для защиты от механических повреждений, лежащего на дне реки или озера кабеля с каждой его стороны, параллельно прокладывали железную цепь или трос.

В 1850г был проложен первый морской кабель через пролив Па-де-Кале.

В 1852г была изобретена броня из 10 стальных проволок.На свой телефон на Всемирной Электротехнической выставке в Филадельфии. Первым шагом, переходным от телеграфных к телефонным кабелям, явилось предложение содержать кабельные линии с целью защиты от влаги под избыточным давлением парафинового масла. Вторым шагом, было предложение закачивать в кабели газ или воздух.

В 1882г была изобретена кордельно-ленточная изоляция жил.

В 1889г законодательно было принято решение о переходе с однопроводных несимметричных цепей, использующих в качестве обратногопровода землю на симметричные цепи из двух жил.

В 1890-1891гг была освоена технология наложения герметичных свинцовых оболочек, что способствовало переходу с пропитки хлопчатобумажной изоляции на сухую воздушно-бумажную изоляцию из манильской бумаги (пенька+джут), которая оставалась единственным видом изоляции до середины XX в. прокладку первого трансатлантического телеграфного кабеля потребовалось 10 лет (1856-1866г). За это время было предпринято пять попыток.

К концу XIX в. число трансатлантических магистралей достигло 13. Понадобилось еще 90 лет, чтобы в 1956г начал работать первый телефонный кабель через Атлантику. Совре менные кабели связи для подземной прокладки, своим появлением и развитием обязаны изобретению телефона. 25 июня 1876г Белл впервые публично продемонстрировал

В 1892г была изобретена кордельно-бумажная изоляция.Для умень-шения индуктивного влияния между цепями и защиты от внешних помех в конце 80-х годов началось применение скрутки жил в пары и четверки.

В двадцатых годах прошлого столетия были сконструированы кабели дальней связи с кордельно-бумажной изоляцией жил и с четверочной скруткой по системе «звезда» либо ДП (двойная парная скрутка), позволившие увеличить дальность передачи до 30-40км и улучшить качество связи.

25 января 1927г - в США было выдано шесть патентов на способ изолирования жил целлюлозной массой. Второй страной в мире применившей этот способ изоляции был СССР.

Появляются новые высококачественные диэлектрики: высокочастотная керамика, полистирол, стирофлекс, что привело к созданию нового типа кабелей - коаксиальных. Первая коаксиальная магистраль была проложена в 1936г

Хронологически третьим, но сегодня первым по значимости типом изоляции телефонных кабелей является сплошная полиэтиленовая. Промышленный выпуск полиэтилена начался в 1940г

В 1948г появились кабели в оболочке из альпэта.

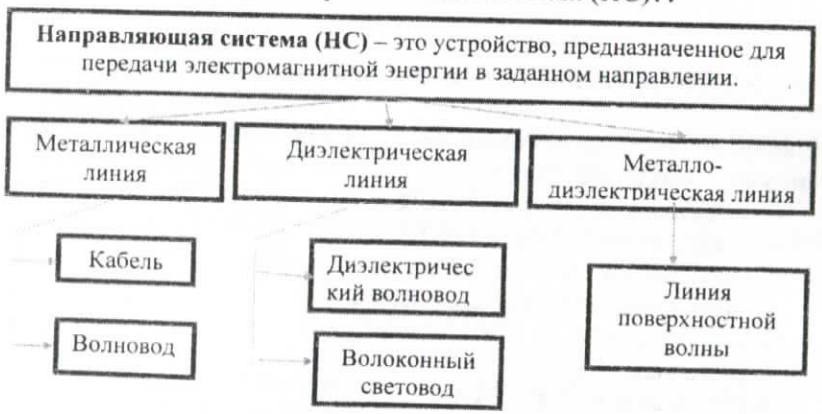
В 1949г была выпущена первая в СССР партия кабеля со шланговой оболочкой из полихлорвинилового пластиката. В 50-е годы стала применяться кордельно-стирофлексная изоляция жил симметричных кабелей, позволившая уменьшить как затухание цепей, так и взаимные влияния между цепями.

В 1964г английский инженер Георг Додд предложил заполнять свободный объем кабелей, на долю которого приходится 40% общего объема сердечника, вязким компаундом на основе продуктов перегонки нефти. Появились «заполненные» или «герметизированные кабели».

В 1970г развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучение оптического диапазона волн.

1.2 Направляющие системы передачи

Что такое Направляющая система (НС)??



Таким свойством обладают проводник, диэлектрик и любая граница раздела сред с различными электрическими свойствами (металл – диэлектрик, диэлектрик – воздух и др.). Поэтому роль направляющей системы могут выполнять металлическая линия (кабель, волновод), диэлектрическая линия из материала с $\varepsilon > 1$ (диэлектрический волновод, волоконный световод), а также металло-диэлектрическая линия (линия поверхностной волны).

На рис 1.1. приведены частотные диапазоны различных направляющих систем.

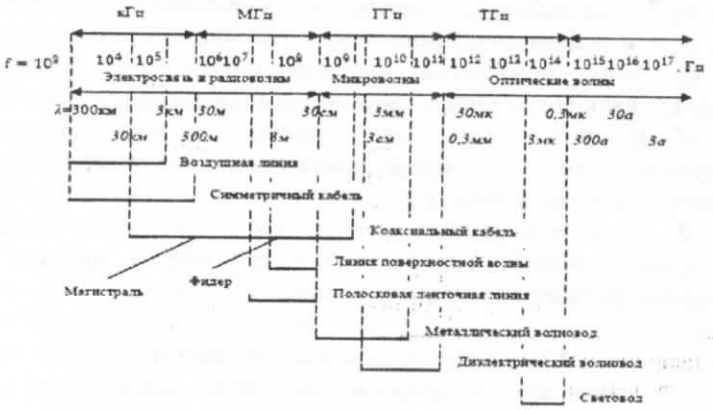


Рис. 1.1. Частотные диапазоны различных направляющих систем.

Современные направляющие системы передачи высокочастотной энергии разделяются на:

- воздушные линии связи (**ВЛС**);
- симметричные кабели (**СК**),
- коаксиальные кабели (**КК**);
- сверхпроводящие кабели (**СПК**);
- волноводы (**В**);
- световоды (**С**),
- оптические кабели (**ОК**);
- линии поверхностной волны (**ЛПВ**);
- диэлектрические волноводы (**ДВ**);
- ленточные кабели (**ЛК**),
- полосковые линии (**ПЛ**);
- радиочастотные кабели (**РК**).

Конструкции различных направляющих систем схематично показаны на рис. 1.2 Воздушные линии и симметричные кабели относятся к группе **симметричных цепей**. Отличительной особенностью таких цепей является наличие двух проводников с

одинаковыми конструктивными и электри- ческими свойствами. Известные конструкции симметричных кабелей содержат от 1х2 до 2400х2 жил под общей защитной оболочкой. В **коаксиальном кабеле** проводник ***а*** концентрически расположен внутри проводника ***б***, имеющего форму полого цилиндра. Внутренний проводник изолируется от внешнего с помощью различных изоляционных прокладок (шайбы, баллоны, кордели и др).

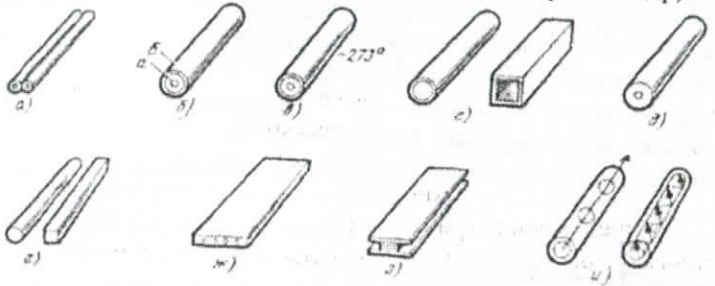


Рис 1.2 Конструкции направляющих систем:
а) симметричная цепь; б) коаксиальный кабель; в) сверхпроводящий кабель; г) волноводы; д) линия поверхностной воды; е) диэлектрические волноводы; ж) ленточный кабель; з) полосковая линия; и) световоды (линзовый, волоконный)

Волновод представляет собой полую металлическую трубу круглого или прямоугольного сечения, изготовленную из хорошо проводящего материала.

ЗАПОМНИТЕ!!!

Оптический кабель представляет собой скрутку из оптических волокон – световодов, объединенных в единую конструкцию

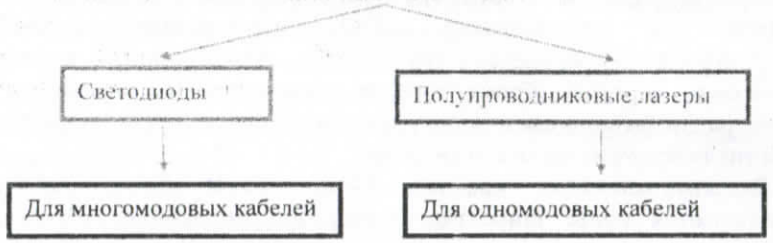
Сверхпроводящий кабель имеет коаксиальную конструкцию весьма малых габаритов, помещенную в условия низких отрицательных температур (-269°С).

Линия поверхностной волны представляет собой одиночный металлический провод, покрытый высокочастотной изоляцией (полиэтиленом).

Диэлектрический волновод – это стержень круглого или прямоугольного сечения, выполненный из высокочастотного материала (полиэтилена, стирофлекса).

передачи информации применяется свет с длиной волны 1550 нм (1,55 мкм), 1300 нм (1,3 мкм) и 850 нм (0,85 мкм). Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 нм и 1300 нм. Излучатели с длиной волны 850 нм существенно дешевле, чем излучатели с длиной волны 1300 нм, но полоса пропускания кабеля для волн 850 нм уже, например 200 МГц/км вместо 500 МГц/км.

Источники излучения света в волоконно-оптических



Лазерные излучатели работают на длинах волн 1300 и 1550 нм. Быстродействие современных лазеров позволяет модули ровать световой поток с частотами 10 ГГц и выше. Лазерные излучатели создают когерентный поток света, за счет чего потери в оптических волокнах становятся меньше, чем при использовании некогерентного потока светодиодов. Использование только нескольких длин волн для передачи информации в оптических волокнах связанно с особенностью их амплитудно-частотной характеристики. Именно для этих дискретных длин волн наблюдаются ярко выраженные максимумы передачи мощности сигнала, а для других волн затухание в волокнах существенно выше. Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами MIC, ST и SC. Волоконно-оптические кабели обладают отличными характерис тиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток - сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.Сама стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволокном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного

оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается для витой пары. Выполнение же некачественных соединений сразу резко сужает полосу пропускания волоконно-оптических кабелей и линий.

На основании вышеуказанного можно сделать следующие выводы:

- При построении сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду: телефонные и телеграфные провода, подвешенные в воздухе, медные коаксиальные кабели, медные витые пары, волоконно-оптические кабели, радиоволны.
- Линии связи могут использовать, кроме кабеля, промежуточную аппаратуру, прозрачную для пользователей. Промежуточная аппаратура выполняет две основные функции: усиливает сигналы и обеспечивает постоянную коммутацию между парой пользователей линии.
- В зависимости от типа промежуточной аппаратуры линии связи делятся на аналоговые и цифровые.

ЗАПОМНИТЕ!

В аналоговых линиях связи для уплотнения низкоскоростных каналов абонентов в общий высокоскоростной канал ***метод разделения частот (FDM), а в цифровых - метод разделения во времени (TDM).***

- Для характеристики способности линии передавать сигналы произвольной формы без значительных искажений применяется ряд показателей, использующих в качестве тестового сигнала синусоиды различной частоты. К этим показателям относятся: амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание сигнала на определенной частоте.
- В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетво ряющие определенным стандартам. Современные стандарты

определяет характеристики не отдельного кабеля, а полного набора элементов, необходимого для создания кабельного соединения, например шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля, жесткого кроссового соединения и шнура до концентратора. Сегодня наиболее употребительными стандартами являются: американский стандарт EIA/TIA-568A, международный стандарт ISO/IEC 11801, европейский стандарт EN50173, а также фирменный стандарт компании IBMСтандарты определены для четырех типов кабеля: на основе неэкранированной витой пары, на основе экранированной витой пары, коаксиального и волоконно-оптического кабелей.

- Кабель на основе неэкранированной витой пары в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий. Кабели ***категории 1*** применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Главная особенность кабелей ***категории 2*** - способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц. Кабели ***категории 3*** широко распространены и предназначены как для передачи данных, так и для передачи голоса. Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3 и на практике используются редко. Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов FDDI, Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, ATM и Gigabit Ethernet.Кабель на основе экранированной витой пары хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а пользователей сетей - от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку. Экранированный кабель применяется только для передачи данных. Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся на типы: Type 1, Type 2, Type 9, из которых основным является кабель Type 1.
- Коаксиальные кабели существует в большом количестве вариантов: «толстый» коаксиальный кабель, различные разновид ности «тонкого» коаксиального кабеля, которые обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем, зато за счет своей гибкости более удобны при монтаже, сюда же относится телевизионный кабель.

- Волоконно-оптические кабели обладают отличными электромагнитными и механическими характеристиками, недостаток их состоит в сложности и высокой стоимости монтажных работ.

1.4. Основные требования к линиям связи

Линией связи называется среда распространения электромагнитных волн, используемая для передачи сигналов от передатчика к приемнику. Такой средой могут быть воздушная, кабельная, радиорелейная, волоконно-оптическая линия связи, волноводы и т.д. Передатчик, линия связи и приемник образуют **канал связи**. ***Источник сообщений, передатчик, линия связи, приемник и получатель сообщений образуют систему связи***. Из всех элементов системы наибольший процент стоимости 70-80% приходится на линии связи. Поэтому в технике связи основной является проблема разработки систем и методов, позволяющих одновременно передавать по одной линии связи большое число независимых сообщений. Такие системы передачи называются многоканальными. Кабельная линия междугородной связи представляет собой сложное техническое сооружение, состоящее из огромного числа элементов. Так как линия предназначена для длительной работы и на ней должна быть обеспеченна бесперебойная работа тысяч каналов связи, то ко всем элементам линейно-кабельного оборудования и в первую очередь к кабелям и кабельной арматуре, входящим в линейный тракт передачи сигналов, предъявляются высокие требования. В общем виде **требования**, предъявляемые **к линиям связи**, могут быть сформулированы следующим образом: осуществление связи с заданным качеством на практически необходимые расстояния (до 25000 км для международной связи; 12500 км на междугородной сети связи; 600 км – региональной и 100 км – местной, сетях связи); широкополосность и пригодность для передачи различных видов информации (телефонии, телевидения, вещания, передачи данных и т.д.); защищенность цепей от взаимных внешних помех, а также от грозы и коррозии; стабильность электрических параметров линии, устойчивость и надежность связи; низкие капитальные и эксплуатационные расходы. В соответствии с этим кабельная техника развивается в следующих направлениях:

1. Создание и внедрение перспективных оптических кабелей связи, обеспечивающих получение большого числа каналов и не требующих для своего производства дефицитных металлов (медь, свинец).
2. Преимущественное развитие коаксиальных систем, позволяющих организовать мощные пучки связи и передачу программ телевидения на большие расстояния по однокабельной системе.
3. Создание экранированных кабелей, надежно защищающих передаваемую по ним информацию от внешних электромагнитных влияний и грозы, в частности кабелей в двухслойных оболочках типа алюминий – сталь и алюминий – свинец.
4. Повышение электрической прочности изоляции кабелей связи

1.5. Сравнение линий связи различных типов

Различают два основных типа линий связи: линии в атмосфере (радиолинии) и направляющие линии передачи (линии связи). **Отличительной особенностью радиолиний** является распространение электромагнитных сигналов в свободном (естественном) пространстве (космос, воздух, земля, вода и т.д.). Дальность радиолиний может простираться от нескольких сотен метров до сотен миллионов километров – расстояний между автоматическими космическими аппаратами и земными станциями. В зависимости от длины волны (частоты) сигналы по радиолиниям распространяются следующим путем (рис.5.3): длинные волны (**ДВ** – 10 … 1км; 30 … 300 кГц) и средние волны (**СВ**– 1,0 … 0,1 км; 0,3 … 3 МГц) – поверхностным лучом (1) короткие волны (**КВ** – 100 … 10м; 3 … 30 МГц) – пространственным лучом (2) ультракороткие волны (**УКВ** – 10 … 1м; 30 … 300 МГц) – в пределах прямой видимости (3)

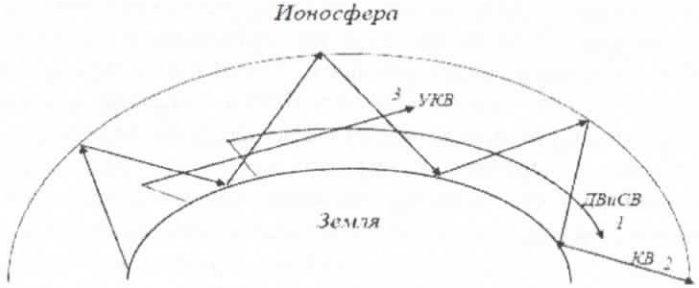


Рис 1.4. Распространение различных типов радиоволн

Кроме указанных выше достоинств радиолиний, определяемых возможностью установления связи на огромные расстояния с подвижными объектами, отметим еще высокую скорость установления связи, а также возможность обеспечения передачи массовых средств информации (радиовещание и телевидение) с неограниченным числом слушателей и зрителей. Основные **недостатки радиолиний** (радиосвязи) состоят в следующем: зависимость качества связи от состояния среды передачи и сторонних электромагнитных полей; низкая скорость; недостаточно высокая электромагнитная совместимость в диапазоне метровых волн и выше; сложность аппаратуры передатчика и приемника; узкополосность систем передачи, особенно на длинных волнах и выше. Отличительной особенностью направляющих линий связи является то, что распространение сигналов в них от одного абонента (станции, устройства, элемента схемы и т.д.) к другому абоненту осуществляется только по специально созданным цепям и трактам линий связи, образующим направляющие системы, предназначенные для передачи электромагнитных сигналов в заданном направлении с должными качеством и надежностью.**Достоинства направляющих линий связи** состоят в обеспечении требуемого качества передачи сигналов, высокой скорости передачи, большой защищенности от влияния сторонних полей, заданной степени электромагнитной совместимости, относительной простоты оконечных устройств. **Недостатки линий связи** определяются высокой стоимостью капитальных и эксплуатационных расходов, а также относительно длительными сроками установления связи. Сопоставляя линии связи и радиолинии, следует отметить, что они не противопоставляют, а дополняют друг друга, при создании, развитии и совершенствовании единой сети связи.

Различают три основные типы линий связи:

1. **кабельные (КЛ),**
2. **воздушные (ВЛ),**
3. **волоконно-оптические (оптические кабели**).

Кабельные и воздушные линии относятся к проводным линиям, у которых направляющие системы образуются системами проводник – диэлектрик, а волоконно-оптические линии представляют собой диэлектрические волноводы, направляющая система которых состоит из диэлектриков с различными показателями преломления.

Проводные линии связи работают в килогерцовом и мегагерцовом диапазонах частот. К их **достоинствам** можно отнести: обеспечение требуемого качества передачи сигналов, высокая скорость передачи, защищенность от влияния сторонних полей, обеспечение заданной степени электромагнитной совместимости, относительная простота оконечных устройств. **Недостатками** являются: высокие капитальные и эксплуатационные расходы, а с развитием новых широкополосных видов связи не всегда удовлетворяют требованиям по пропускной способности. Кабельные линии делятся на:

- симметричные кабели (**СК**);
- коаксиальные кабели (**КК**);
- сверхпроводящие кабели (**СПК**);
- волноводы;
- ленточные кабели;
- полосковые линии (**ПЛ**);
- радиочастотные кабели (**РК**).

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ!!

Для передачи информации на большие расстояния используются только СК, КК, ВЛС, ВОЛС, остальные направляющие среды имеют локальное назначение и предназначены для передачи энергии на короткие расстояния от антенн к аппаратуре.

Основным преимуществом ВЛС являются низкие капитальные затраты, но в то же время опоры ВЛС требуют консервации. Однако низкая пропускная способность (не более 15 кГц в диапазоне до 150 кГц), обусловленная недостаточной помехозащищенностью от взаимных помех и подверженность атмосферно климатическим воздействиям (изморозь, гроза, северное сияние) ограничивают их использование на сельских сетях связи.

N.B!

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) представляют собой системы для передачи световых сигналов микроволнового диапазона волн (λ=0,8 … 1,6мкм) по оптическим кабелям. Применение ВОЛС эффективно при числе каналов больше 30 000 … 50 000.

Этот вид линий связи является наиболее перспективной. Достоинствами ВОЛС являются – низкие потери, большая пропускная способность, малые масса и габаритные размеры, экономия цветных металлов, высокая степень защищенности от внешних и взаимных помех. Оценка экономической эффективности и сравнительная стоимость линий электросвязи различных типов может быть проиллюстрирована следующими примерными данными стоимости одного канало-километра связи (где стоимость воздушной линии с проводами из цветных металлов диаметром 4мм принята за 100%) Воздушная линия (d=4 мм) 100% Симметричный кабель (d=1,2 мм) 35-50% Стандартизованный коаксиальный кабель (2,6/9,4 мм) 15% Малогабаритный коаксиальный кабель (1,2/4,4) 9% Радиорелейная линия (Р-600) 15% При числе каналов больше 30 000 … 50 000 эффективно применение ВОЛС.

В настоящее время различные виды линий связи на телекоммуникационной сети Республики Узбекистан распределены приблизительно следующим образом:

- 80% - оптический кабель,
- 18% - медный кабель,
- 1,5% - ЦРРЛ,
- 0,5% - воздушные линии связи.

1.6. Классификация сетей связи

В соответствии с Законом Республики Узбекистан в телекоммуникациях применяются следующие понятия:

- **телекоммуникации** - передача, прием, обработка сигналов, знаков, текстов, изображений, звуков или иных видов информации с использованием проводных, радио,оптических или других электро- магнитных систем;
- **сеть телекоммуникаций** - совокупность средств телекоммуникаций, обеспечивающих один или несколько видов передач: телефонную, телеграфную, факсимильную, передачу данных и других видов документальных сообщений, трансляцию телевизионных и радиовещательных программ;
- **средства телекоммуникаций** - технические устройства, оборудование, сооружения и системы, позволяющие формировать, передавать, принимать, обрабатывать,

коммутировать электромагнитные или оптические сигналы и управлять ими;

- **сооружения телекоммуникаций** - здания, установки, линии теле- коммуникаций, приспособления, опоры, мачты и другие сооружения, обеспечивающие функционирование и эксплуатацию сетей и средств телекоммуникаций;
- **оконечное (терминальное) оборудование** - технические средства пользователей (телефонные, факсимильные, радиоприемные и другие устройства), взаимодействующие с сетями телекоммуникаций и предназначенные для формирования, преобразования, обработки сигналов, передаваемых или принимаемых по сетям телекоммуникаций;
- **межсетевые соединения** - технологическое взаимодействие между сетями телекоммуникаций различных операторов телекоммуникаций, обеспечивающие передачу и прием информации между пользователями;
- **оператор телекоммуникаций** - юридическое или физическое лицо, владеющее сетью телекоммуникаций на правах собственности, обеспечивающее ее функционирование, развитие и оказывающее услуги телекоммуникаций.

В целях упорядочения управления сетями электросвязи, мониторинга их состояния и обеспечения их согласованного взаимодействия необходима классификация сетей электросвязи по разным существенным признакам (критериям), которая позволит определить место каждой сети во всей системе электросвязи, выявить свойства сетей с разных точек зрения на основе системного подхода.

Следует отличать сети электросвязи от инфокоммуникационных сетей:

сеть связи (или телекоммуникационная сеть) - это технологическая система, которая состоит из линий и каналов связи, узлов, оконечных станций и предназначена для обеспечения пользователей электрической связью с помощью абонентских терминалов, подключаемых к оконечным станциям;

инфокоммуникационная сеть (ранее применялись также термины «**информационная сеть**», «**компьютерная сеть**» и др.) - это технологическая система, которая включает в себя кроме сети связи, также средства хранения, обработки и поиска информации и

предназначена для обеспечения пользователей электрической связью и доступом к необходимой им информации.

Процессы интеграции и конвергенции связи и средств информатизации будут способствовать превращению телекоммуникационных сетей в инфокоммуникационные сети.

В соответствии с Законом Республики Узбекистан «О телекоммуникациях» сеть телекоммуникаций состоит из сетей следующих категорий:

1. ***сеть связи общего пользования;***
2. ***выделенные сети связи;***
3. ***технологические сети связи;***
4. ***сети специального назначения.***

Сети общего пользования Республики Узбекистан имеют присоединения к сетям связи общего пользования иностранных государств.

К сети телекоммуникаций общего пользования относится сеть телекоммуникаций, предназначенная для оказания услуг телекоммуникаций всем юридическим и физическим лицам на территории Республики Узбекистан на основе единых принципов обслуживания, порядка их предоставления и оплаты. Правила оказания услуг телекоммуникаций на сети телекоммуникаций общего пользования устанавливаются специально уполномоченным органом в сфере телекоммуникаций.

Выделенные, технологические, а также сети связи специального назначения образуют группу сетей ограниченного пользования (ОгП). Так как контингент их пользователей ограничен корпоративными клиентами.

Выделенные сети связи - это сети, предназначенные для предоставления услуг ограниченному кругу пользователей. Такие сети могут взаимодействовать между собой, но не имеют присоединения к сетям общего пользования, а также к сетям связи общего пользования иностранных государств. Выделенная сеть может быть присоединена к сети общего пользования с переводом в категорию сети общего пользования, если она соответствует ее требованиям.

Технологические (ведомственные, корпоративные) сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организации и управления технологическими процессами. При наличии свободных ресурсов эти сетевые ресурсы могут быть

присоединены к сети общего пользования и использованы для предоставления возмездных услуг любому пользователю.

Сети связи специального назначения предназначены для обеспечения нужд государственного управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка в Республике Узбекистан. Такие сети не могут использоваться для возмездного оказания услуг связи, если иное не предусмотрено законодательством Республики Узбекистан.

По функциональному признаку сети разделяются на сети доступа и транспортные сети.

Транспортной является та часть сети связи, которая выполняет функции переноса (транспортирования) потоков сообщений между узлами коммутаций сетей абонентского доступа, от их источников из одной сети доступа к получателям сообщений другой сети доступа, путем распределения этих потоков между сетями доступа.

Сеть абонентского доступа – это часть телекоммуникационной сети общего пользования, расположенная между абонентскими оконечными устройствами, в качестве которых у потребителя могут быть задействованы компьютеры, телефонные аппараты, факсы и телефонной станцией, узлом коммутации, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью.

По типу присоединяемых абонентских терминалов сети разделяются на:

- **сети фиксированной связи,** обеспечивающие присоединение стационарных абонентских терминалов;
- **сети подвижной связи,** обеспечивающие присоединение подвижных (перевозимых или переносимых) абонентских терминалов.

По **территориальному делению** сети разделяются на:

- **магистральную сеть** – это сеть, связывающая между собой узлы центров субъекта Республики Узбекистан и узлы центра республики Узбекистан. Магистральная сеть обеспечивает транзит потоков сообщений между зоновыми сетями и связанность единой сети электросвязи;
- **зоновые (или региональные)сети** – сети связи, образуемые в пределах территории одного или нескольких субъектов Республики (регионов);
- **местные сети** – сети связи. Образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу

территории и не относящиеся к региональным сетям связи. Местные сети подразделяются на городские и сельские;

- **международная сеть** – сеть общего пользования, соединяющая сети связи иностранных государств.

По числу служб электросвязи сети бывают:

- **односервисные**, предназначенные для организации одной службы электросвязи (например, радиовещания);
- **мультисервисные**, предназначенные для организации двух и более служб электросвязи (например, телефонной, факсимильной и нескольких мультимедийных служб).

По видам коммутации вторичные сети разделяются на:

1. **некоммутируемые**;
2. **коммутируемые** – с коммутацией каналов, сообщений, пакетов.

По **характеру среды распространения** сети разделяются на проводные, радио-, и смешанные. В свою очередь проводные подразделяются на воздушные, кабельные и оптические линии связи, а радиосети разделяются на спутниковые и наземные.

Сети общего пользования различают пообъему обслуживаемой территории:- сеть оператора связи, занимающего существенное положение (имеет более 25 % монтированной емкости коммутации или пропускает более 25 % трафика) и сети других операторов.

Уровневое представление телекоммуникационных сетей

Телекоммуникационная сеть – это комплекс элементов, в который входят: пользователи, операторы связи, предоставляющие пользователям набор услуг связи, а также соответствующие технические устройства и линии связи, обеспечивающие работу сети.

Создание высокоэффективной телекоммуникационной сети является наиболее важной задачей на современном этапе развития.

Ранним этапом развития сетей телекоммуникаций было создание узкоспециальных сетей (телефонная сеть общего пользования, сеть передачи программ звукового вещания, телеграфная сеть общего пользования и др.).

Такие специализированные сети назывались вторичными сетями связи.

Вторичная сеть представляет собой совокупность коммутационных станций, узлов коммутации, оконечных абонентских устройств и каналов вторичной сети, организованных на базе каналов передачи первичной сети. Название вторичной сети присваивается в зависимости от вида передаваемой информации.

Связь между узлами коммутационных сетей производилась с помощью соединительных линий (СЛ), которые также были узко специализированными, т.е. СЛ телефонной сети обслуживали только соединения между узлами коммутации телефонной сети и т.д.В период существования вторичных сетей для взаимодействия узлов коммутации, разных населенных пунктов была также создана первичная сеть.

Первичная сеть представляет собой совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. Она охватывает территорию всей республики и имеет иерархическую структуру, объединяя магистральную, внутризоновые и местные первичные сети (термину «первичная сеть» соответствует англоязычный термин «transmissionnetwork», при переводе на русский язык означает «сеть передачи»). Первичная сеть поставляла вторичным сетям каналы связи и групповые тракты для взаимодействия по определенной траектории (рис. 1.5).

Первичная сеть на предыдущих этапах развития создавалась на основе аналоговых систем передачи (АСП), поэтому каналы связи и групповые тракты (пучки каналов), также были аналоговыми.

Аналоговые каналы и групповые тракты имели существенные недостатки:

- ❖ недостаточная помехозащищенность;
- ❖ зависимость качества передаваемого сигнала от расстояния передачи
- ❖ отсутствие гибкости, адаптации к изменениям в уровне требований и запросов различных пользователей к скорости передачи, времени доставки и верности информации;
- ❖ низкая эффективность использования ресурсов сети, и естественно высокие материальные затраты.

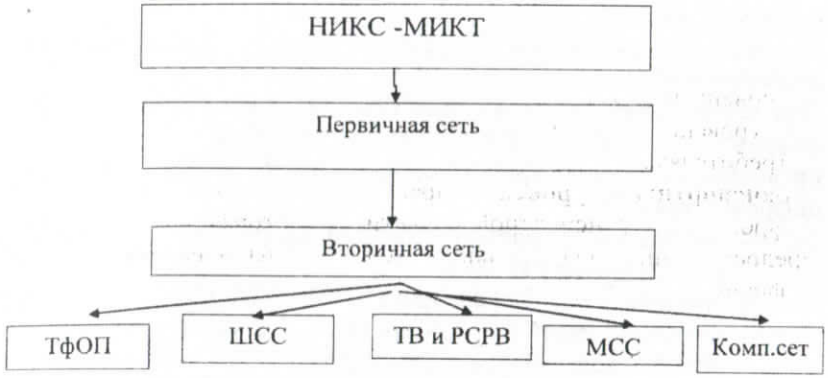


Рис.1.5. Первичная и вторичная сети связи

НИКС – национальная инфокоммуникационная сеть; ТфОП - Телефонная сеть общего пользования; ШСС - широкополосная сеть связи; ТВ и РСРВ - Телевизионное вещание и радиосвязь-радиовещание; МСС - Мобильные системы связи; Комп.сети - Компьютерные сети

Развитие средств связи, повышение требований к качеству обслуживания привело к появлению нового термина – **транспортная сеть (transport network).** Согласно Рекомендации G.803 ITU-T:

1. Транспортирование – это функциональный процесс переноса информации между разнесенными пунктами;
2. Понятие«передача»-физический процесс распространения информационных сигналов в физической среде.

Понятие транспортной сети (transport network).

Транспортная сеть – это совокупность всех ресурсов, выполняющих функции транспортирования, включающая не только системы передачи, но и относящиеся к ним средства контроля, оперативного переключения, управления и резервирования

В связи с этим в настоящее время во всем мире используется 3-х уровневый принцип построения телекоммуникационных сетей:

1. транспортный уровень;

2. уровень доступа;
3. уровень различных служб и услуг, предоставляемых потребителям;

Транспортный уровень практически реализуется в виде цифровой транспортной сети, которая обеспечивает предоставление для уровня сетей доступа следующих типов цифровых трактов:

- ❖ первичный цифровой тракт со скоростью передачи 2М (организуется 30 ОЦК);
- ❖ третичный цифровой тракт 34М– 480 ОЦК (вторичный цифровой тракт 8М, как средство доступа в транспортную сеть с использованием технологии SDH не используется);
- ❖ четверичный цифровой тракт 140М (1920 ОЦК);

Первый уровень технологии SDH–STM-1 со скоростью передачи линейного сигнала 155 Мбит/с, организуется 1890 ОЦК;

Потребители ресурсов транспортной сети, в зависимости от объема трафика и вида сетей доступа выбирают необходимый тракт доступа в транспортную сеть.

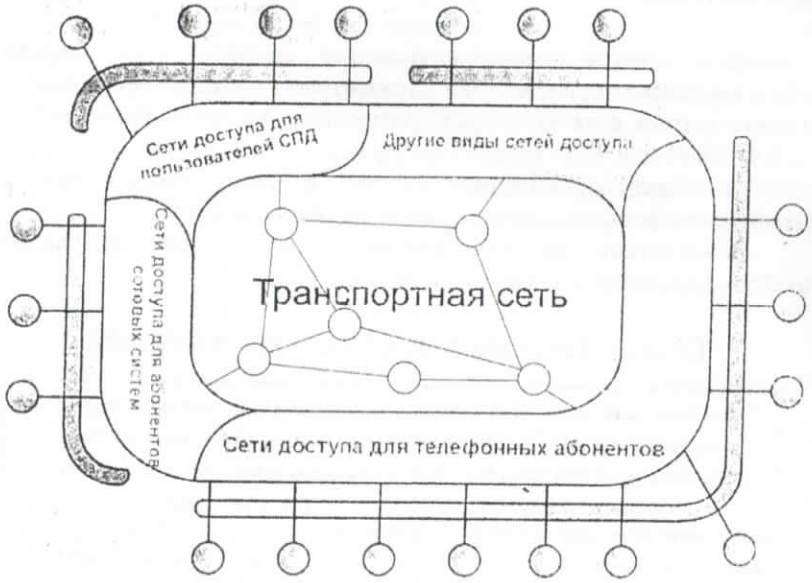


Рис. 1.6. Структура телекоммуникационной сети

Основное **назначение сети доступа** – концентрация информационных потоков поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования пользователей, в сравнительно небольшом количестве специализированных узлов доступа транспортной сети.

В транспортной сети для передачи информации могут использоваться разные технологии:

- организация временного разделения цифровых потоков высокой скорости на основе цифровой **плезиохронной иерархии PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)** или **цифровой синхронной иерархии SDH (Synchronous Digital Hierarchy)**;
- асинхронный способ передачи **ATM (Asynchronous Transfer Mode)**, основанный на адресном принципе передачи крупных пакетов информации;
- организация волнового разделения цифровых потоков высокой скорости с использованием мультиплексоров **WDM (Wavelenghth Division Multiplexing**-спектральное уплотнение по длинам волн), **DWDM (Dense Wavelenghth Division Multiplexing**-плотное спектральное уплотнение), **HDWDM (HighDensity Wavelenghth Division Multiplexing**- высоко плотное спектральное уплотнение), **CWDM (Coarse Wavelenghth Division Multiplexing** - разреженное спектральное уплотнение).

Выбор той или иной технологии для создания конкретной транспортной сети зависит от многих факторов, из которых основными являются:

- ➢ топология существующей телекоммуникационной сети с учетом ее изменения после внедрения новой технологии транспортной сети;
- ➢ перспектива развития выбранной технологии транспортной сети и возможность ее взаимодействия с другими технологиями транспортных сетей;
- ➢ ожидаемая структура трафика и удельный вес различных составляющих трафика (передача речи, передача данных, передача видео, компьютерной видеоконференции);
- ➢ вид возможных услуг и их качество, которые может обеспечить \транспортная сеть совместно с сетями доступа.

Все эти факторы позволяют выбрать различные технологии транспортных сетей, но при выборе надо следовать следующим общим рекомендациям:

- если на транспортной сети преобладает телефонный трафик, то целесообразно использовать технологию SDH;
- если трафик транспортной сети смешанный (речь, передача данных, видео) и требуется гарантированное качество предоставления услуг, то целесообразно использовать техно логию ATM. Под гарантированным качеством предоставле ния услуг понимается предоставление потребителю заказанной скорости передачи (полосы пропускания), вероятности ошибки в цифровом канале, времени задержки не превышающего величины определенной потребителем;
- ***если трафик смешанный и не требуется гарантированного предоставления услуг, то целесообразно выбирать технологию IP (VoIP – Voiceover Internet Protocol), потому что она обеспечивает в настоящее время более дешевые тарифы на услуги телекоммуникаций***.
- технологию волнового мультиплексирования WDM и DWDM целесообразно использовать для организации транспортных сетей, где требуется передача очень больших объемов информации (порядка десятков и сотен Гбит/с).

При выборе базовой технологии для транспортных сетей республики Узбекистан, с учетом всех перечисленных выше факторов, была выбрана технология синхронной цифровой иерархии SDH. В первую очередь такой выбор был произведен потому, что трафик в нашей республике примерно на 95 % является телефонным (передача речи). По мере развития сетей передачи данных и, соответственно, объема трафика передачи данных, строятся наложенные сети по технологиям ATM и IP, путем их наложения на транспортную сеть, реализованную на технологии SDH. Для транспортных сетей характерен территориальный принцип построения. Выделяют четыре уровня транспортных сетей.

Глобальная (международная) транспортная сеть – это совокупность международных станций и соединяющих их трактов, обеспечивающая международной связью абонентов различных национальных сетей (рис 2.3) МЦК – международный центр коммутации.Эти сети могут иметь различную топологию, однако

отдаётся предпочтение топологии «кольцо». Хотя, для примера ТАЕ ВОЛС Шанхай-Франкфурт-на-Майне имеет топологию «последовательная линейная цепь». Основные требования, предъявляемые к оборудованию международных сетей – обеспечение передачи на большие расстояния, большая ёмкость сети (DWDM, STM-256, STM-64). В Узбекистане международные центры коммутации, служащие для пропуска международного трафика расположены в Ташкенте и Бухаре. Для транспортных сетей характерен территориальный принцип построения. Выделяют четыре уровня транспортных сетей.

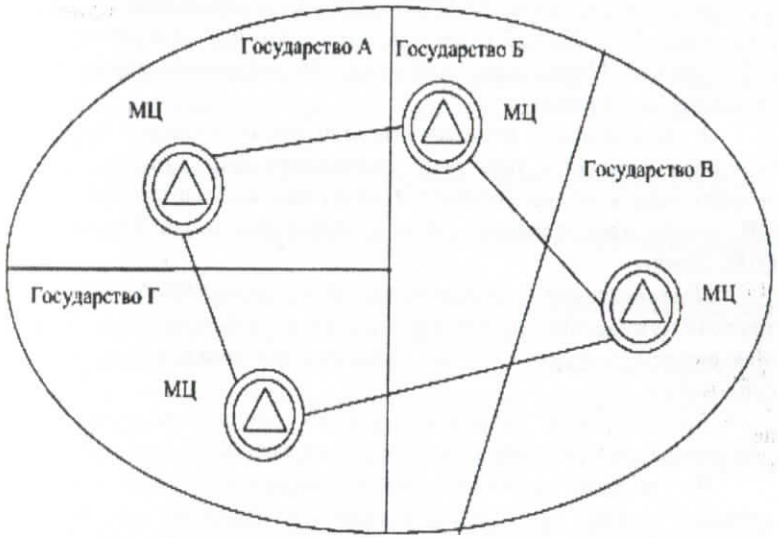


Рис.1.7. Глобальная (международная) транспортная сеть

Глобальная (международная) транспортная сеть - это совокупность международных станций и соединяющих их трактов, обеспечивающая международной связью абонентов различных национальных сетей. См. рис. 1.9 (где МЦ – Между народный центр коммутации).

Эти сети могут иметь различную топологию, однако отдаётся предпочтение топологии «кольцо». Хотя, для примера

ТАЕВОЛС Шанхай-Франкфурт-на-Майне имеет топологию «последовательная линейная цепь».

Основные требования, предъявляемые к оборудованию международных сетей - обеспечение передачи на большие расстояния, большая ёмкость сети (DWDM, STM-256, STM-64).

В Узбекистане международные центры коммутации, служащие для пропуска международного трафика расположены в Ташкенте и Бухаре.

Примером глобальной транспортной сети может служить реализованная по проекту Oxygen сеть связи FLAG (Fiber Optic Link Around the Globe), на базе преимущественно подводных и частично подземных ВОЛС. Общая протяженность линий составляет 275000км, 264 оконечные станции (VWR) построены в 174 странах. Параметры: 10Гбит/с, 16 канальное спектральное уплотнение (DWDM).

В подводных кабелях размещается четыре пары ОВ. Итоговая скорость передачи составляет 640 Гбит/с, а число телефонных каналов 7680000. Надземные кабели содержат по 12 ОВ, объём передаваемой по ним информации 3,2 Тбит/с, число ОЦК 23млн.

Национальная (магистральная) транспортная сеть - сеть телекоммуникаций данной страны, обеспечивающая связь между абонентами внутри страны и выход на международную сеть (рис. 1.10)

Транспортные сети этого уровня соединяют между собой областные центры и крупные города со столицей страны.

В сети этого уровня обычно применяются любые топологии: «точка- точка», «последовательная линейная цепь», «кольцо», «звезда». Пропускная способность этого уровня DWDM, STM-16, STM-4. На магистральном уровне решающими остаётся большая пропускная способность и возможность её быстрого увеличения по мере роста объёмов трафика, а также возможность её быстрого увеличения по мере роста объёмов трафика, а также возможность поддерживать различные протоколы передачи данных.

В Республике Узбекистан роль транспортной сети национального уровня выполняет национальный сегмент ТАЕ ВОЛС - топология «последовательная линейная цепь».

На сети имеется четыре междугородных центра коммутации МГЦК, расположенных в трех сетевых узлах связи (СУС) Пахты,

Бухары, Булунгура, а также МТС Коканда. Четыре узла соединены по принципу «каждый с каждым». К каждому узлу подключены региональные станции. Для внешнего выхода на страны СНГ на сети предусмотрено пять «пограничных» узлов в МТС Андижана, СУС Денау, СУС Бухары, МТС Нукуса и СУС Пахты, соответственно для связи с Кыргызстаном, Таджикистаном, Туркменией и Казахстаном.

Региональные (зоновые) транспортные сети - охватывают территорию края или области и соединяют между собой областной центр с райцентрами и крупными населенными пунктами области (рис. 1.8)

Особенность данного уровня - сложная сетевая архитектура, большое число сетевых узлов коммутации трафика, возможность поддерживать различные протоколы передачи данных. Пропускная способность региональных транспортных сетей STM-4, STM-1

Местная транспортная сеть подразделяется на СТС и ГТС.

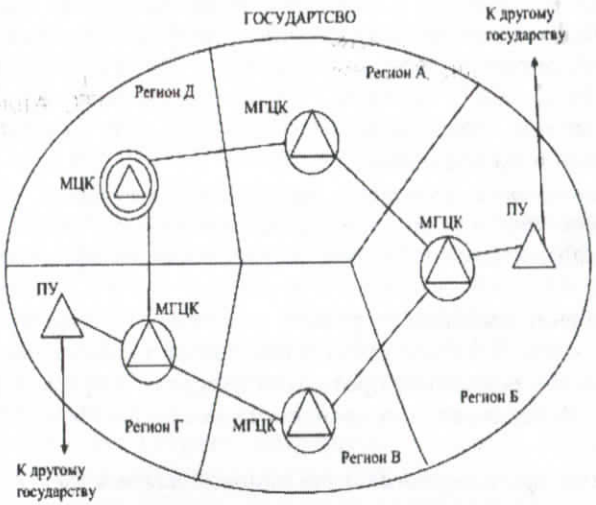
СТС охватывает территорию сельского административного района.

ГТС располагается на территории города и предназначена для связи между собой специализированных сетей доступа.

АТС городской телефонной сети, сотовых сетей связи (ССС), а также центров коммутации сетей передачи данных (CGL) в пределах города.

Пропускная способность сети доступа СТС - STM-1, ГТС - CWDM, DWDM, STM-64, STM-16, STM-4.

Подключение абонентов специализированных сетей доступа к транспортной сети осуществляется через специализированные узлы коммутации. Узлы коммутации должны соединяться между собой, как в пределах одного города (сельского административного района), так и между городами. Для соединения специализированных узлов коммутации (АТС ТФОП, центров коммутации ССС и СПД) необходимы соединительные линии между этими узлами, которые организуются с использованием каналов и трактов систем передач, в зависимости от объёма информации, требований к скорости доставки этой информации.



МЦК – международный центр коммутации

МГЦК – междугородный центр коммутации

ПУ – пограничный узел.

Рис.1.8.Региональные транспортные сети

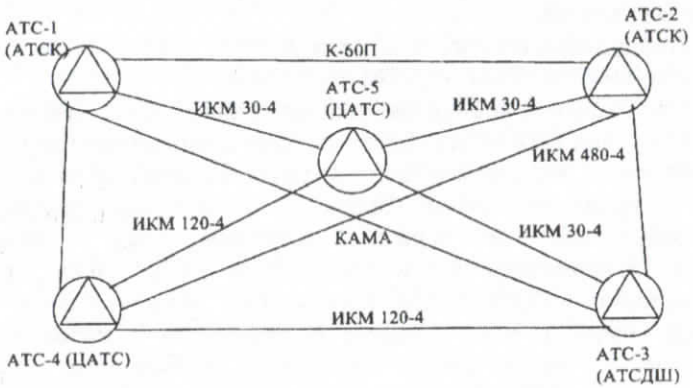


Рис 1.9. Городская телефонная сеть до реконструкции

До появления технологии транспортных сетей связь между АТС (декадно-шаговыми, координатными) производилась по аналоговым или цифровым соединительным линиям, которые организовывались несколькими способами (рис. 1.9):

1) Соединительные линии по физическим парам низкочастотного телефонного кабеля - типа ТПП, ТГ.

2) По каналам ТЧ аналоговых систем передачи (системы передачи кабельных (К-60П, КАМА) и радиорелейных линий (КРР))

3) По трактам ЦСП PDH (ИКМ-30; ИКМ-120; ИКМ-480)

Все соединительные линии работали отдельно друг от друга, не было управления и контроля соединительных линий (СЛ), не обеспечивалось требуемое качество передачи сигналов по СЛ, соответственно не было единого центра контроля и управления межстанционными связями на ГТС.

Примером построения такой сети ГТС, может быть сеть из 5 АТС (рис 1.12.) где АТС-1,2 - координатные, АТС-4,5 - цифровые, АТС-3 - декадно-шаговая. Структура сети межстанционных соединительных линий обеспечивает соединение АТС между собой по принципу «каждая с каждой».

Соединительные линии между АТС до реконструкции были организованы с использованием аналоговых и цифровых систем передачи. Эти системы передачи работали по электрическим кабелям:

- ❖ КАМА - по высокочастотным кабелям типа МКС, ВТСПБ, КСППБ;
- ❖ К-60П - по высокочастотным кабелям типа МКС;
- ❖ ИКМ-30-4 - по высокочастотным симметричным кабелям типа ТПП;
- ❖ ИКМ-120-4 - по высокочастотным симметричным кабелям типа МКС;
- ❖ ИКМ-480-4 - по малогабаритным коаксиальным кабелям типа МКТ.

Для организации цифровых трактов между аналоговыми и цифровыми АТС, в ЛАЦ АТСК, АТСДШ устанавливаются первичные цифровые мультиплексоры MUX 2M, формирующие из аналоговых сигналов абонентов

Сегодня в крупных городах Узбекистана используются местные транспортные сети с использованием технологии SDH,

которые организуют соединительные линии по цифровым трактам транспортной сети. При этом транспортные сети городов организуется по кольцевой топологии.

Для организации соединительных линий на местной транспортной сети на каждой АТС устанавливается синхронный цифровой мультиплексор ADM с функциями ввода/вывода цифровых трактов. Эти мультиплексоры соединяются между собой синхронными оптическими линейными трактами с использованием ВОК.

Каждая АТС должна иметь свой доступ (тракты доступа) к транспортной сети. Для этого каждый синхронный цифровой мультиплексор (SDM) имеет каналы доступа (трибутарные входы), соответствующие определенному уровню иерархии SDH и PDH. АТС через соответствующие цифровые тракты (Е-1, Е-3, Е-4) подключаются к трибутарным входам ADM.

Модель городской транспортной сети SDH состоит из четырёх коммутационных узлов (рис.1.13.). К узлу 1 подключается цифровая ЦАТС, к узлу 2 аналоговая координатная АТСК, к узлу 3 - коммутационная станция сотовой подвижной сети связи, к узлу 4 - маршрутизатор (router) локальной вычислительной сети (LAN). На каждом узле коммутации для организации транспортной сети установлены ADM ввода/вывода цифровых трактов иерархии PDH 2M.

Возможны следующие варианты доступа сигналов АТС в транспортную сеть через трибы SDM.

1). Цифровая АТС сама формирует цифровые тракты PDH, как правило уровня 2M(E1) и эти тракты подключаются сразу к трибам 2M SDM.

2). Аналоговая АТС (декадно-шаговая, координатная) имеет на своих выходах аналоговые СЛ. Для доступа АТС в транспортную сеть, должно быть установлено оборудование объединения аналоговой АТС с цифровой транспортной сетью. Таким оборудованием являются первичные мультиплексоры PDH - MUX 2M.

Коммутационные станции ССС и маршрутизаторы ЛВС на своих выходах сразу же формируют цифровые потоки иерархии PDH, необходимые для подключения к трибутарным входам SDM

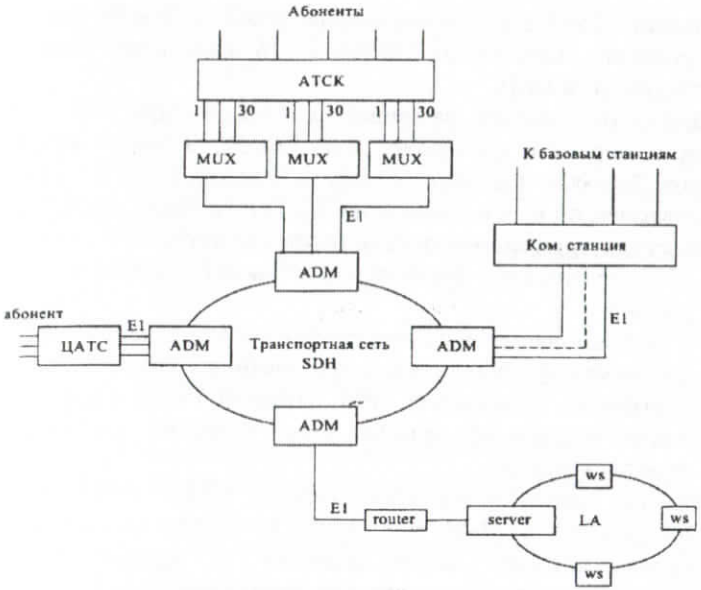
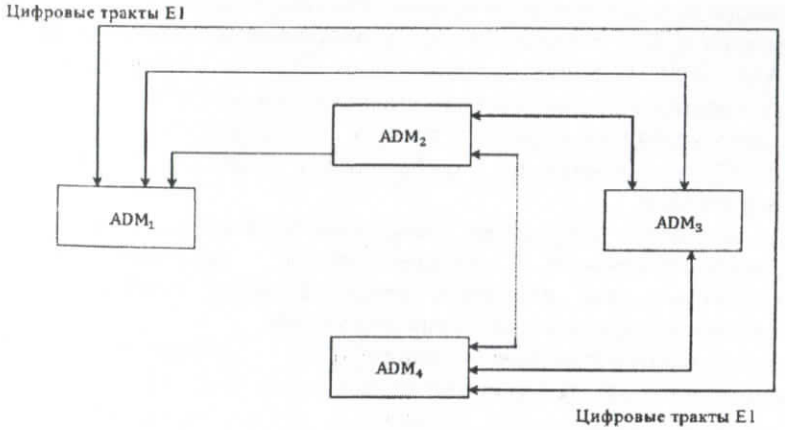


Рис 1.10. Местная городская транспортная сеть



Примером глобальной транспортной сети может служить реализованная по проектуOxygen сеть связи FLAG (Fiber Optic Link Aroundthe Globe), на базе преимущественно подводных и частично подземных ВОЛС. Общая протяженность линий

составляет 275000км, 264 оконечные станции (VWR) построены в 174 странах. Параметры: 10Гбит/с, 16 канальное спектральное уплотнение (DWDM).

В подводных кабелях размещается четыре пары ОВ. Итоговая скорость передачи составляет 640 Гбит/с, а число телефонных каналов 7680000. Надземные кабели содержат по 12 ОВ, объём передаваемой по ним информации 3,2 Тбит/с, число ОЦК 23млн.

Местная транспортная сеть подразделяется на СТС и ГТС.

- СТС охватывает территорию сельского административного района.
- ГТС располагается на территории города и предназначена для связи между собой специализированных сетей доступа, АТС городской телефонной сети, сотовых сетей связи (ССС), а также центров коммутации сетей передачи данных (CGL) в пределах города.

Пропускная способность сети доступа СТС – STM-1, ГТС – CWDM, DWDM, STM-64, STM-16, STM-4.Подключение абонентов специализированных сетей доступа к транспортной сети осуществляется через специализированные узлы коммутации. Узлы коммутации должны соединяться между собой, как в пределах одного города (сельского административного района), так и между городами. Для соединения специализированных узлов коммутации (АТС ТФОП, центров коммутации ССС и СПД) необходимы соединительные линии между этими узлами, которые организуются с использованием каналов и трактов систем передач, в зависимости от объёма информации, требований к скорости доставки этой информации.

До появления технологии транспортных сетей связь между АТС (декадно-шаговыми, координатными) производилась по аналоговым или цифровым соединительным линиям, которые организовывались несколькими способами:

1. Соединительные линии по физическим парам низкочастотного телефонного кабеля – типа ТПП, ТГ.
2. По каналам ТЧ аналоговых систем передачи (системы передачи кабельных (К-60П, КАМА) и радиорелейных линий (КРР))
3. По трактам ЦСП PDH (ИКМ-30; ИКМ-120; ИКМ-480)

Все соединительные линии работали отдельно друг от друга, не было управления и контроля соединительных линий (СЛ), не

обеспечивалось требуемое качество передачи сигналов по СЛ, соответственно не было единого центра контроля и управления межстанционными связями на ГТС.

Примером построения такой сети ГТС, может быть сеть из 5 АТС(рис 1.13.) где АТС-1,2 - координатные, АТС-4,5 – цифровые, АТС-3 – декадно-шаговая. Структура сети межстанционных соединительных линий обеспечивает соединение АТС между собой по принципу «каждая с каждой».

Соединительные линии между АТС до реконструкции были организованы с использованием аналоговых и цифровых систем передачи. Эти системы передачи работали по электрическим кабелям:

- КАМА - по высокочастотным кабелям типа МКС, ВТСПБ, КСППБ;
- К-60П - по высокочастотным кабелям типа МКС;
- ИКМ-30-4 - по высокочастотным симметричным кабелям типа ТПП;
- ИКМ-120-4 – по высокочастотным симметричным кабелям типа МКС;
- ИКМ-480-4 – по малогабаритным коаксиальным кабелям типа МКТ.

Для организации цифровых трактов между аналоговыми и цифровыми АТС, в ЛАЦ АТСК, АТСДШ устанавливаются первичные цифровые мультиплексоры MUX 2M, формирующие из аналоговых сигналов абонентов цифровые потоки для передачи по СЛ.В настоящее время в крупных городах создаются местные транспортные сети с использованием технологии SDH, которые организуют соединительные линии по цифровым трактам транспортной сети. При этом транспортные сети городов организуется по кольцевой топологии. Для организации соединительных линий на местной транспортной сети на каждой АТС устанавливается синхронный цифровой мультиплексор ADM с функциями ввода/вывода цифровых трактов. Эти мультиплексоры соединяются между собой синхронными оптическими линейными трактами с использованием ВОК. Каждая АТС должна иметь свой доступ (тракты доступа) к транспортной сети. Для этого каждый синхронный цифровой мультиплексор (SDM) имеет каналы доступа (трибутарные входы), соответствующие определенному уровню иерархии SDH и PDH. АТС через соответствующие

цифровые тракты (Е-1, Е-3, Е-4) подключаются к трибутарным входам ADM.Модель городской транспортной сети SDH состоит из четырёх коммутационных узлов (рис.2.7.). К узлу 1 подключается цифровая ЦАТС, к узлу 2 аналоговая координатная АТСК, к узлу 3–коммутационная станция сотовой подвижной сети связи, к узлу 4 –маршрутизатор (router) локальной вычислительной сети (LAN).
На каждом узле коммутации для организации транспортной сети установлены ADM ввода/вывода цифровых трактов иерархии PDH2M.
Возможны следующие варианты доступа сигналов АТС в транспортную сеть через трибы SDM.
1.Цифровая АТС сама формирует цифровые тракты PDH, как правило уровня 2М(Е1) и эти тракты подключаются сразу к трибам 2MSDM.
2. Для доступа АТС в транспортную сеть, должно быть установлено оборудование объединения аналоговой АТС с цифровой транспортной сетью. Таким оборудованием являются первичные мультиплексоры PDH – MUX 2M.

1.7. Структура сетей связи

Для описания структуры транспортной сети обычно используют трехуровневую модель, состоящую из национальной сети, региональной сети и местной сети (рис 1.11.). Каждый уровень данной модели транспортной сети состоит из: **узловых станция (Уз), оконечных пунктов (ОП), пунктов управления сетью (ПУ)**, которые соединены ВОЛС.

Узлы (пункты) транспортной сети по своему назначению можно разделить на следующие.

Оконечный пункт (узел), в котором установлено терминальное оборудование транспортной сети, обеспечивающее доступ в транспортную сеть от специализированных сетей доступа различного назначения.

Оконечный пункт (узел) формирует из сигналов сетей доступа линейный сигнал, который передается по линейному тракту транспортной сети другому узлу (пункту).

Промежуточные узлы (пункты) транспортной сети могут быть обслуживаемые и необслуживаемые.

Обслуживаемые промежуточные узлы (пункты) бывают двух видов:

1.Промежуточный узел-с вводом-выводом цифровых трактов из линейного тракта, где цифровые тракты ввода-вывода обслуживают сети доступа данного населенного пункта;

2.Транзитный узел-без ввода-вывода цифровых трактов - промежуточный **узел**.

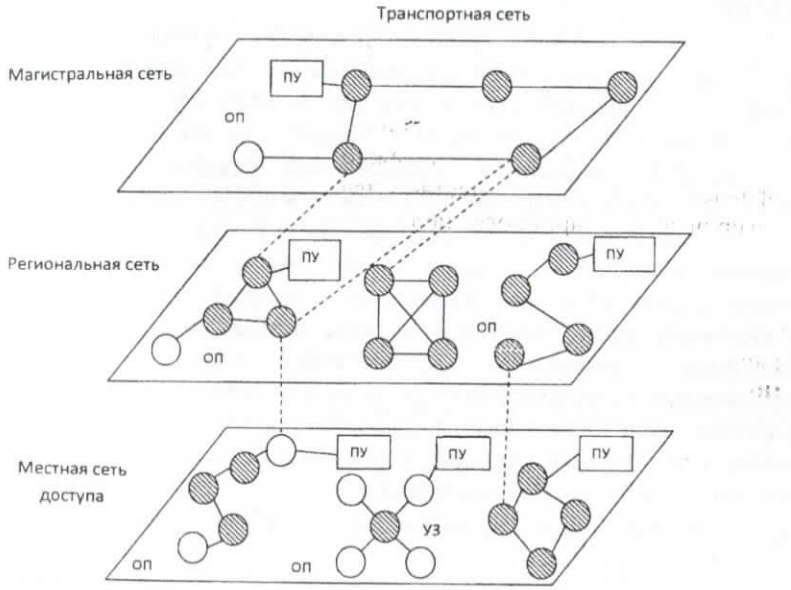


Рис. 1.11. Уровни транспортной сети

Необслуживаемые промежуточные пункты – регенераторы применяют для увеличения расстояния между обслуживаемыми узлами. Без регенерации для одномодовых ВОК оно составляет 40-60 км на длине волны 1310 нм или 60-100 км на длине волны 1550 нм, а с помощью регенераторов его можно увеличить до 250-300 км. В полностью оптических сетях вместо регенераторов используются оптические усилители, обеспечивающие дальность связи между узлами до 600 км.

Узловые станции содержат **мультиплексор ввода-вывода ADM (Add-Drop Multiplexer)**, а также оборудование климатехники и источники бесперебойного питания. Мультиплексор ADM осуществляет ввод-вывод цифровых трактов, по которым передаются цифровые потоки. В оконечных пунктах вместо ADM устанавливаются **терминальные мультиплексоры ТМ (Terminal Multiplexer)** – оконечные устройства с некоторым числом каналов доступа, соответствующим определенному уровню иерархий PDH и SDH.

Для нормального функционирования транспортной сети необходимо создание **сети управления**. С этой целью на каждом уровне транспортной сети, в каждом регионе создаются пункты управления (ПУ), осуществ- ляющие функции управления, тестирования, аварийного переключения, резервирования, сбора статистики о прохождении сигнала аварийных ситуациях.

Основой транспортной сети на любом участке являются линии телекоммуникации, которые соединяют между собой оборудование транспортной сети, расположенное в разных узлах этой сети. **Линейный тракт** транспортной сети предназначен для передачи линейных сигналов и представляет собой совокупность технических устройств (регенераторов или оптических усилителей, участков оптического кабеля, соединительных и разветвительных муфт, станционных кабелей и оптических шнуров, оптических кроссов). Линейные тракты в транспортной сети также могут быть организованы с использованием ЦРРЛ (цифровых радиорелейных линий).

В качестве примера рассмотрим один уровень вышеприведенной модели транспортной сети (рис 1.12). Один уровень транспортной сети состоит из трех узлов, расположенных в разных населенных пунктах. В пределах одного рассматриваемого уровня можно выделить три следующих подуровня:

1. **уровень среды передачи**, обеспечивающий три типа сред для передачи цифровых потоков: оптическую, электрическую (радиорелейную) и электрическую (спутниковую), специфика которых отражается в используемом оборудовании. В примере данному уровню соответствует ОЛТ;

2.**уровень трактов**, обеспечивающий пользователю телекоммуникационные сервисы коммутируемых цепей, пакетной коммутации и выделенных линий;

3. **уровень сетей элементов**, включающий в себя все сетевые элементы данной транспортной сети. В качестве сетевых элементов транспортной сети технологии SDH используются мультиплексоры ADM, ТМ.

Современная транспортная сеть имеет смешанную топологию (meshed), в которой основным звеном являются узловые элементы. Здесь происходит сбор трафика с различных направления, маршрутизация и переключение каналов с одного направления на другое. Эти элементы сети, которые называют «шлюзовыми», обеспечивают кросс-коммутацию, а также выделение различных по своей структуре и протоколам типов сигналов.

Узловой элемент – это место пересечения транспортных потоков различной ёмкости с многих направления. Для их обработки оборудование должно иметь достаточный размер матрица кросс - коммутации, а для ввода/вывода потоков – необходимое количество интерфейсов различных типов.

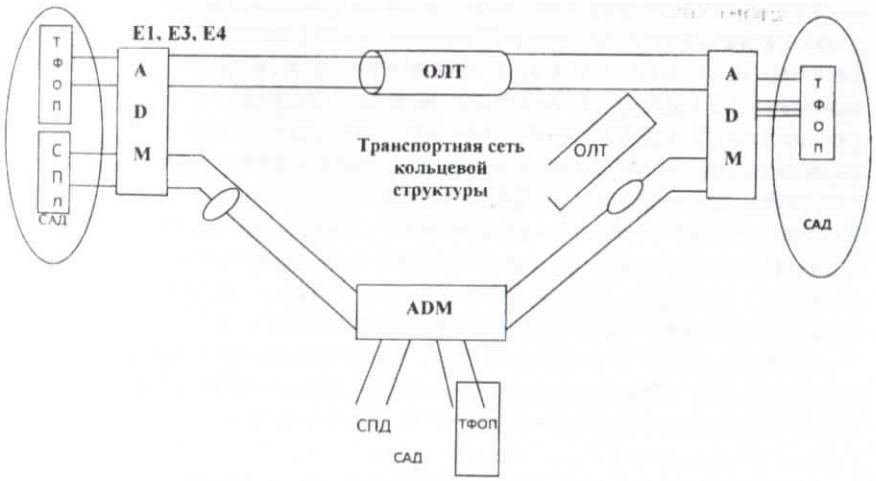


Рис 1.12. Модель одного уровня транспортной сети

Построение современной транспортной сети напрямую зависит от выбора оборудования для узловых элементов.

На определенных этапах развития транспортной сети эту задачу может выполнять и мультиплексор ADM, который обычно

обладает функциями кросс-коннекторной системы. Но с ростом узла и увеличением емкости потоков, его возможностей уже не хватает и на смену приходит специализированное оборудование – цифровой транспортный кросс-коммутатор.

Это оборудование не только обладает большим размером матрицы, но и имеет меньше ограничений по обрабатываемым типам сигналов, спектр которых может содержать любые скорости – от 1.5 Мбит/с до 40 Мбит/с.

Кроме того, кросс-коннектор SDxC (SynchronousDigitalCross-Connectsystem) обладает еще очень важной отличительной особенностью, позволяющей устанавливать его в качестве основного несущего элемента современной транспортной сети, - высокой надежностью. Высокая концентрация потоков на узлах требует обеспечения соответствующего уровня надежности системы, которая обеспечивается внедрением различных схем резервирования, как на аппаратном (резервирование каждого блока системы), так и на сетевом уровне (схемы резервирования трафика, схемы восстановления сети).Магистральный уровень транспортной сети состоит из нескольких соединенных между собой кросс-коннекторов SDxC, к которым в свою очередь подсоединены региональные сети.Региональная сеть состоит из двух подсетей: одна подсеть реализована в виде кольцевой структуры, состоящей из мультиплексоров ADM, вторая подсеть реализована с использованием кросс-коннектора, объединяющего потоки нескольких синхронных терминальных мультиплексоров TM.Сеть доступа имеет кольцевую структуру, состоящую из мультиплексоров ADM и кросс-коннектора SDxC.

Через SMUX возможно непосредственное подключение к местным АТС через цифровые потоки иерархии PDH и SDH, либо через гибкие мультиплексоры F-MUX (Flex-Gain).

Требования к транспортным сетям и основные их характеристики

К современным транспортным сетям предъявляются следующие основные требования, обеспечивающие возможность не только гарантировать необходимое качество обслуживания, но и дальнейшее развитие сети:

1.Необходимаяполоса пропускания и **своевременность доставки информации** пользователю.

2.Контроль – процесс установления соответствия между состоянием объекта контроля и заранее заданной нормой на его параметры.

3.Оперативное переключение – реконфигурация прилегающих участков сети и соответствующая кросс-коммутация потоков, осуществляемая немедленно после появления сигнала о возникновении отказа, вызванного либо разрывом соединительного тракта, либо отказом узла последовательной линейной цепи.

4.Резервирование – применение дополнительных средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких элементов.

5.Расширение числа видов услуг – широкое внедрение в практику голосовой конференцсвязи, видеоконференцсвязи, электронной почты, передачи данных, поиска информации, передачи в ограниченные сроки больших объектов информации. При этом большинство из требуемых услуг являются услугами с комплексным предоставлением информации, которые в Рекомендации сектора стандартизаций ITU-T определяются как **мультимедиа**.

6.Маршрутизация – передвижение информации от источника к пункту назначения через объединенную сеть, включающая оптимальные тракты маршрутизации и транспортировку информационных групп через объединенную сеть включает в себя два основных компонента: определение оптимальных трактов маршрутизации и транспортировку информационных групп через объединенную сеть.

7..Общеканальная сигнализация – введение общецелевой системы сигнализации, предназначенной для осуществления обмена сигнальной информацией в цифровых сетях телекоммуникаций с цифровыми программно-управляемыми станциями.

8..Надежность сети – свойство, характеризующее способность сети выполнять требуемые функции с заданными эксплуатационными характеристиками, как в нормальных условиях эксплуатации, так и в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Оценка надежности транспортной сети производится с помощью следующих показателей: среднее

Еще одно направление развития IP-сетей - это использование оптических кабелей в качестве среды передачи непосредственно. Наращивание скорости передачи до 1 или 10 Гбит/с подразумевает использование оптических технологий и создание так называемого Optical Ethernet. Наибольшее распространение получил в городах, обусловленный большим потребительским спросом на широкополосные услуги. Но даже с учетом большой полосы пропускания каналов такая IP-сеть несет в себе все недостатки "младших" Ethernet.

Дальнейшее развитие IP-сетей приведет к созданию MPLS. Технология MPLS должна была снизить нагрузки на маршрутизаторы и адаптировать IP-сети к разнородному трафику данных. Она соединяла сеть IP и ATM и стала одной из технологий транспортного уровня NGN. Технология MPLS заключается в том, что устройства опорной сети передают пакеты только с использованием меток и не анализируют заголовки IP-пакетов. В точке выхода метки удаляются, пакеты передаются в пункт назначения. Таким образом ускоряется коммутация пакетов в узлах сети, дифференцируется трафик и поддерживается сквозное качество услуг IP-сети. Технология MPLS позволяет строить множество виртуальных частных IP-сетей с изолированной системой IP-адресации на базе единой транспортной сети.

Рис 1.13. Тенденция развития телекоммуникационных услуг

В перспективном будущем телекоммуникационные сети будут представлять мультимедийную подсистему на базе протокола IP. – IMS (IP Multimedia Subsystem).На рис.1.13.показана Тенденция развития телекому- никационных услугМультимедийность

архитектуры дает возможность оператору предоставлять разнообразные услуги абонентам.

В рамках дальнейшем развитием телекоммуникационных сетей с использованием концепции NGN. АК»Узбектелеком» активно:

- развивает мобильные сети CDMA-450 с внедрением технологии EV-DO в регионах Республики Узбекистан;
- развивает оптические сети широкополосного доступа по технологии FTTx;
- в целях повышения надежности и живучести телекоммуникационной сети и увеличения ее пропускной способности до 100 Гбит/с, устанавливается оборудование систем передачи на базе технологии DWDM/SDH/IP/MPLS, OTN для обеспечения полного резервирования действующей транспортной сети АК «Узбектелеком»;
- выполнение подключения колледжей к сети «Электронное образование» Республики Узбекистан»;

1.9. Основные понятия и термины ВОЛС.Этапы развития волоконно- оптической линии связи

Первым, кто пришел к мысли о передаче электрических зарядов на большие расстояния был профессор физиологии Лейпцигского университета Иоганн Винклер. Он считал, что с «помощью изолированного подвешенного проводника возможна передача электричества на «край света» и что благодаря этому оно станет «осязаемым».

Первым, кто в 1780г Заговорил о технологии изготовления изолированных проводов был итальянский ученый Тиберио Кавалло. Он предлагал натянутую отожженную медную или латунную проволоку нагревая покрывать смолой, и обматывать полотняной лентой, также покрытой смолой. Дополнительно изолированная проволоке защищалась чехлом из шерсти. Места соединения отрезков проводов между собой следовало тщательно обматывать промасленным шелком (муфта).

В 1795гиспанский врач Франсиско Сальва доложил Барселонской академии наук о рекомендуемой им линии связи. «Нет необходимости поддерживать проволоки удаленными друг от друга, они могут быть скручены в кабель и подвешены на высоте. Каждая проволока обматывается пропитанной смолой бумагой. Затем все вместе проволоки скручиваются и обматываются

многими слоями бумаги. Таким образом предотвращается утечка электричества».

1816г, Англия, проложена первая опытная подземная линия связи. В траншею, глубиной 1,2м был уложен пропитанный смолой деревянный желоб. На дне желоба были расположены стеклянные трубки с пропущенными через них медными проволоками.

1840г, Англия, проложена телеграфная линия длиной в 30км в чугунных трубах. Были предложения использовать асфальтовые или глиняные трубы и прокладывать их на глубине 0,9м.

1841г, Россия. Якоби проложил телеграфную линию между Зимним дворцом и зданием Главного штаба в Петербурге. Токопроводящие жилы из отожженной мягкой медной проволоки диаметром 3мм изолировались хлопчатобумажной пряжей в два слоя с последующей пропиткой мастикой из воска, сала и канифоли. Изолированные жилы затягивались в последовательно соединенные узкие жестяные гильзы.

1844г, США. По проекту Морзе была сделана попытка прокладки многожильного кабеля в свинцовой трубе. Был даже сконструирован (инженером Эзрой Корнеллом) специальный плуг, который рыл траншею, укладывал в нее кабель и закапывал траншею (это был первый в мире кабелеукладчик)

В 1881г на Международной Электротехнической выставке в Париже Шиллингом, изобретателем электромагнитного телеграфа, экспонировался образец кабельного изделия. Изделие именовалось телеграфным кабелем и состояло из восьми медных проводов, каждый из которых был изолирован слоем каучуковой массы, а все вместе снаружи обернуты лентой, пропитанной каучуком.

Хотя в то время еще не умели производить электрические измерения изоляции, тем не менее Шиллинг установил, что изоляция даже самых лучших образцов его кабеля, проложенного в земле или в воде, сравнительно быстро теряет свои свойства, чем, безусловно, уступает «воздушной» изоляции «голых» проводов, подвешенных на изоляторах, укрепленных на столбах, предложенной им в 1835г Для проведения электрического телеграфа.

На долгие годы линии связи оставались воздушными, зато гуттаперчевая изоляция кабелей нашла широкое применение в подводных кабелях

Первые кабели через водные преграды прокладывали на высоких шестах, установленных на дне водоемов. В конце 1840г Были проведены первые опыты по прокладке изолированных гуттаперчей проводов. Для защиты от механических повреждений, лежащего на дне реки или озера кабеля с каждой его стороны, параллельно прокладывали железную цепь или трос.

В 1850г был проложен первый морской кабель через пролив Па-де-Кале.

В 1852г была изобретена броня из 10 стальных проволок.

На прокладку первого трансатлантического телеграфного кабеля потребовалось 10 лет (1856-1866г). За это время было предпринято пять попыток.

К концу XIX в. Число трансатлантических магистралей достигло 13. Понадобилось еще 90 лет, чтобы в 1956г Начал работать первый телефонный кабель через Атлантику.

Современные кабели связи для подземной прокладки, своим появлением и развитием обязаны изобретению телефона. 25 июня 1876г Белл впервые публично продемонстрировал свой телефон на Всемирной Электротехнической выставке в Филадельфии.

Первым шагом, переходным от телеграфных к телефонным кабелям, явилось предложение содержать кабельные линии с целью защиты от влаги под избыточным давлением парафинового масла. Вторым шагом, было предложение закачивать в кабели газ или воздух.

В 1882г Была предложена кордельно-ленточная изоляция жил.

В 1889г Законодательно было принято решение о переходе с однопроводных несимметричных цепей, использующих в качестве обратного провода землю на симметричные цепи из двух жил.

В 1890-1891гг была освоена технология наложения герметичных свинцовых оболочек, что способствовало переходу с пропитки хлопчатобумажной изоляции на сухую воздушно-бумажную изоляцию из манильской бумаги (пенька+джут), которая оставалась единственным видом изоляции до середины XX в.

В 1892г – изобретена кордельно-бумажная изоляция.

Для уменьшения индуктивного влияния между цепями и защиты от внешних помех в конце 80-ч годов началось применение скрутки жил в пары и четверки.

В двадцатых годах прошлого столетия были сконструированы кабели дальней связи с кордельно-бумажной изоляцией жил и с

четверочной скруткой по системе «звезда» либо ДП (двойная парная скрутка), позволившие увеличить дальность передачи до 30-40км и улучшить качество связи.

25 января 1927г – в США было выдано шесть патентов на способ изолирования жил целлюлозной массой. Второй страной в мире применившей этот способ изоляции был СССР.

Появляются новые высококачественные диэлектрики: высокочастотная керамика, полистирол, стирофлекс, что привело к созданию нового типа кабелей – коаксиальных. Первая коаксиальная магистраль была проложена в 1936г

Хронологически третьим, но сегодня первым по значимости типом изоляции телефонных кабелей является сплошная полиэтиленовая. Промышленный выпуск полиэтилена начался в 1940г

В 1948г появились кабели в оболочке из альпэта.

В 1949г была выпущена первая в СССР партия кабеля со шланговой оболочкой из полихлорвинилового пластиката. В 50-е годы стала применяться кордельно-стирофлексная изоляция жил симметричных кабелей, позволившая уменьшить как затухание цепей, так и взаимные влияния между цепями.

В 1964г английский инженер Георг Додд предложил заполнять свободный объем кабелей, на долю которого приходится 40% общего объема сердечника, вязким компаундом на основе продуктов перегонки нефти. Появились «заполненные» или «герметизированные кабели».

В 1970г развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучение оптического диапазона волн.

Предпосылки появления волоконно-оптического кабеля

Человек издавна использовал свет в качестве источника сигналов, например маяки, костры и тому подобное. Еще в те далекие времена он фактически построил то, что сегодня мы называем оптической линией связи или оптической системой связи, включающей передатчик (источник), модулятор, оптическую кабельную линию и приемник (глаз). Определив в качестве модуляции преобразование механического сигнала в оптический, например открытие и закрытие источника света, мы можем наблюдать в приемнике обратный процесс - демодуляцию:

преобразование оптического сигнала в сигнал другого рода для дальнейшей обработки в приемнике.

Такая обработка может представлять собой, например, превращение светового образа в глазу в последовательность электрических импульсов нервной системы человека. Головной мозг включается в процесс обработки как последнее звено цепи. Другим, очень важным параметром, используемым при передаче сообщений, является скорость модуляции. Глаз в этом отношении имеет ограничения. Он хорошо приспособлен к восприятию и анализу сложных картин окружающего мира, но не может следить за простыми колебаниями яркости, когда они следуют быстрее 16 раз в секунду. В отличие от глаза, современные оптические системы используют в качестве световых приемников технические устройства - фотоэлементы или фотодиоды, позволяющие отслеживать значительные частоты колебаний .

Еще в середине 70-х годов существовала уверенность в том, что эта часть сети, состоящая из отдельных проводников, должна остаться металлической из экономических соображений. Впоследствии это мнение изменилось.

Около 70% меди, расходуемой на кабели связи, приходится на абонентские сети, хотя диаметры проводников выбраны настолько малыми, насколько это возможно. Если бы в будущем отрезки линий, передающих сигналы, выполнялись на оптических элементах, то можно было бы сэкономить только лишь треть затрат на медь, а абонентские сети необходимо было бы опять строить в каждом квартале новостроек.

Дальнейшим важным направлением являются постоянно растущие информационные потоки в промышленности, хозяйстве, а также в быту. Мировая практика показывает три уровня рентабельности услуг связи:

– высокорентабельная услуга – международная и междугородная телефонная связь;
– средней рентабельности услуга – городская телефонная связь;
– в основном убыточные услуги – сельской телефонной связи.

До 1992 года в Узбекистане весь спектр телекоммуникационных услуг (телефония, телеграфия, передача данных, арендование каналов) предоставлялся монопольной государственной компанией – Министерством связи, вся международная связи осуществлялась

через Московскую международную станцию по 13 аналоговым телефонным каналам. Телефонная сеть полностью состояла из аналоговых систем коммутации с небольшой долей (5 … 10%) цифровых систем передачи.

Исходя из сложившихся трех уровней рентабельности услуг связи, в первую очередь необходимо было осуществлять меры по развитию и реконструкции междугородной и международной телефонной связи, а получаемую в результате этого прибыль использовать на развитие местной телефонной связи.

Для обеспечения развития телекоммуникации в республике, увеличения количества и качества услуг населению 1 августа 1995 года Кабинетом Министров Республики Узбекистан была принята «Национальная программа реконструкции и развития телекоммуникационной сети Республики Узбекистан на период до 2010 года»

Национальная программа предусматривала три этапа реализации, которые в настоящее время успешно завершены.

На **ПЕРВОМ ЭТАПЕ** до 2000 года был осуществлен ввод в городах Ташкент, Нукус и областных центров междугородних городских телефонных станций нового поколения.

ВТОРОЙ ЭТАП (2001-2005гг) характеризовался работой по цифровизации местных телефонных сетей в городах и райцентрах Республики, расширены масштабы внедрения современных АТС в сельской местности, а также применения радиотелефонной связи на селе.

ТРЕТИЙ ЭТАП (2006-2010гг) предусматривает завершение технических и организационных работ по созданию цифровой телекоммуникационной сети Республики на новой базе – цифровых телефонных станциях и системах передачи, организуемых на основе волоконно-оптического кабеля.

До 1992 года в Узбекистане вся магистральная и внутризоновая первичная сеть была организована на основе медных кабельных и воздушных линий связи. Создание цифровой транспортной сети началось со строительства Транс-Азиатско-Европейской волоконно -оптической линии связи (ТАЕ ВОЛС) Шанхай – Франкфурт-на-Майне, соединившей 12 стран: Китай, Киргизию, Казахстан, Узбе кистан,Туркменистан, Иран, Турцию, Украину, Беларусь, Россию, Польшу, Германию.

26 ноября 1997 года был введен в эксплуатацию национальный сегмент Узбекистана ТАЕ ВОЛС, протяженностью 830 км., на котором было проложено 885 км. 18-ти волоконного оптического кабеля фирмы «Siemens».

Магистраль проходит на протяжении через шесть областей – Бухар скую, Кашкадарьинскую, Самаркандскую, Джизакскую, Сырдарьин скую и Ташкентскую области, обеспечивая связью крупные города, такие как Бухара, Навои, Карши, Термез, Самарканд, Джизак, Гулистан, Ташкент.На ответвлениях от основного тракта в большинстве случаев используется синхронные системы уровня STM-1 со скоростью передачи 155 Мбит/с.

В настоящее время в республике продолжаются работы по реконструкции и расширении сети телекоммуникации на основе инвестиционных проектов. Существующая телекоммуникационная сеть представляет собой композицию волоконно-оптических и радиорелейных линий связи.

Основная тенденция развития телекоммуникаций Узбекистана – расширение международной деятельности. Компания «Узбектеле ком» ведет активную работу с зарубежными компаниями и Администрациями связи, Региональным содружеством в области связи (РСС), Советом операторов РСС, Международным союзом электросвязи («Интелсат»). При налаживании новых контактов и поддержке уже установленных «Узбектелеком» придерживается политики долгосрочных партнерских взаимоотношений и обеспечения экономической целесообразности сотрудничества.

Оптическая связь, т.е. передача информации оптическими сигналами, является самым древним, наиболее естественным и понятным телекоммуникационным средством.

Исторически первыми были оптические системы связи: костры, факелы, дымы, семафоры, при помощи которых передавались сигналы. Но в XIX веке их обогнали электрические системы: телеграф, телефон. Возникали и оптикоэлектрические системы, представляющие собой сочетание оптических и электрических систем. Практически интеграция света и электричества в электросвязи впервые запатентована американцем А.Г Беллом в **1880 г** (спустя четыре года после изобретения им телефона). Схема “ фотофона” Белла представлена на рис.1.14

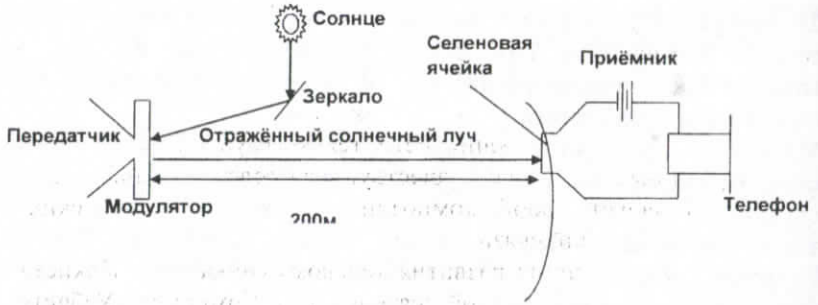


Рис.1.14 Схема " фотофона" Белла

В фотофоне речевые сигналы передавались с помощью светового луча через систему зеркал и линз. Идея не нашла практического применения, поскольку погодные условия оказывали большое отрицательное влияние на качество передачи.

Историю световодов принято начинать с Джона Тиндаля. Этот английский физик **в 1870 г** На заседании лондонского Королевского общества продемонстрировал непрямолинейное распространение света в струе жидкости (3), вытекающей из бокового отверстия (2) в сосуде с водой (1) в виде ниспадающей параболы. Вставленная в стенку сосуда против отверстия линза (4) сфокусировала световой пучок от помещённого снаружи источника света (5) и направляла его внутрь вытекающей струи

В опыте Тиндаля струя воды на всём протяжении светилась. Это объяснялось эффектом полного внутреннего отражения, следствием законов преломления- отражения, установленных ещё в 1621 г нидерландским астрономом и математиком Виллебродом Снеллиусом, и, сформулированным Рене Декартом в "Диоптрике" **в 1637 г**

Принцип действия современных волоконных световодов основан на законе полного внутреннего отражения от границы раздела двух сред.
В 1905г американский физик Роберт Вуд писал, что свет без больших потерь энергии можно перевести из одной точки к другой, пользуясь внутренним отражением от стенок полочки из стекла или лучше плавленого кварца. От возникновения идеи твёрдого прозрачного световода до её воплощения прошло 50 лет.

Начиная с **1910 г** делались более или менее успешные попытки применять стеклянные стержни и гибкие волокна для передачи светового луча, но из-за большого затухания они находили

применение лишь в светотехнике, голографии, измерительной технике, медицине, кибернетике и приборостроении.

В 1916 г А. Эйнштейн теоретически обосновал эффект вынужденного излучения (в современной терминологии - лазерный эффект), открыв возможность создания принципиально новых устройств, генерирующих электромагнитные колебания в оптическом диапазоне частот. В те годы воспользоваться этой возможностью было нельзя, так как было неясно, как можно создать требуемые условия возбуждения электронов в веществе.На подбор соответствующего вещества и поиск способов его возбуждения ушло более 30 лет.

1934 г Америка, Норманн Френч получил патент на оптическую телефонную систему, в которой описывал передачу речевых сигналов через сеть оптических кабелей. При этом он предлагал изготовлять кабели из стержней сверхчистого стекла или аналогичного материала с низким коэффициентом затухания на рабочей длине волны.

В начале 50-х г разработали технологию двухслойных стеклянных волокон со ступенчатым уменьшением показателя преломления от сердцевины к оболочке и научились укладывать волокна в жгуты.
1956 г- английский физик Нариндер Капани ввёл в обращение термин волоконная оптика (fiberoptics). Волоконно- оптические жгуты стали идеальным средством для подсветки в труднодоступных местах, для передачи изображений и их преобразование, т.е. нашли применение в медицине (эндоскопия), измерительной технике, кибернетике, приборостроении. Но оптическая связь была невозможна, т.к. интенсивность света по волоконному жгуту уменьшалась вдвое на каждый метр. Но главная проблема заключалась в отсутствии необходимого источника света.

В 1957-1958 гг- в Московском Физическом институте Прохоров А.М. и Басов Н.Т. сформулировали основные принципы создания генераторов и усилителей световых волн. Одновременно в США Артур Шавлов и Чарльз Таунс (BellTelephoneLaboratories) опубликовали работу в области инфракрасных и оптических лазеров. За это открытие Прохоров А.М.,Басов Н.Т.,Чарльз Таунс и Артур Шавлов были удостоены Нобелевской премии в 1964 г
16 мая 1960 г Теодор Мейман создал первый в мире рубиновый лазер.
Несколько месяцев спустя, в **1961 г** BellLabs сообщила о создании первого образца газового лазера, работающего на смеси гелия и неона в непрерывном режиме. Затем был получен лазерный эффект на парах

цезия, и началась демонстрация возможностей построения лазеров буквально на сотнях различных материалов.

1962 г- были разработаны элементы приёмника светового излучения в виде полупроводниковых фотодиодов. Оставалась нерешённой проблема подходящей передающей среды для света. Рассматривались попытки направлять свет по полому световоду с зеркальной поверхностью с помощью системы линз.

1963-1966 гг Жорес Алферов из Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе сформулировал чёткие представления о гетеролазере, который по совокупности параметров должен был значительно превзойти арсенидогалиевый лазер.

Потери в первых оптических световодах составляли около 1000 дБ/км (оконное стекло- 3000 дБ/км, стекло современных видеокамер-300 дБ/км).

1966г-Англия, Чарльз Као, Джордж Хокхем (Standart Telecommunication Laboratories) сформулировали требования к системе передачи информации по стеклянным волокнам. Главная идея состояла в том, что потери в волокне обусловлены не собственно стеклом, а содержащимися в нём примесями железа, меди, магния, хрома и др. Кроме того, в это же время была показана возможность создания волокна с затуханием менее 20 дБ/км.

1967 г- начало работ над волоконными световодами в компании Corning.

В августе 1970г- Роберт Маурер (CorningGlassCompany -США) получил оптическое волокно с потерями 16 дБ/км на λ=633нм гелий-неонового лазера.

Спустя 30 лет Чарльз Као и Роберт Маурер получили престижную Дрейперовскую премию, а Као- ещё неофициальный титул "отца оптоволоконной связи"- как ни суди, а он был первым, пусть и не сделавшим, но угадавшим.

В 1968 г в Физтехе был изготовлен первый в мире гетеролазер работающий в импульсивном режиме при низких температурах, но в 1970 г Ж.И. Алферов разработал полупроводниковый лазер, работающий в непрерывном режиме при комнатной температуре.

1973 г- первые волокно-оптические кабели были пущены в эксплуатацию для ТЛФ связи на кораблях военно-морского флота США.

1974 г- разработано градиентное многомодовое волокно.

1974 г- описан метод изготовления заготовок волокна методом внутреннего осаждения из газовой фазы (MCVD).

1975 г- получено волокно с затуханием 4дБ/км (Corning).

1976 г- создана промышленная установка по производству волокна.

1976 г- открыто 3 окно прозрачности (1,55мкм) в спектральном диапазоне работы ВОЛС.

1976 г- стандартизованы размеры многомодового волокна.

1976 г- срок службы лазеров увеличен до 100 тыс. часов (≈10 лет).Фирма "WesternElectric", Атланта провела первые полевые испытания ВОЛС.

1977 г- срок службы лазеров увеличен до 1 млн. часов (100 лет). Фирма "BellSystems" провела в Чикаго первые полевые испытания оптического кабеля длинной в 2,5 км.

1977г- разработан метод наружного осаждения OVD для производства заготовок волокна(Corning).

1978 г- построен завод по производству волокна.

1978г-тестирование ВОЛС со скоростью передачи информации 32 Мбит/с, длина участка 53 км и рабочая длина волны 1,3 мкм

1978 г- получено затухание в оптическом волокне 0,2дБ/км на рабочей длине волны 1.55мкм.

1980 г- первая коммерческая ВОЛС (меду Бостоном и Ричмондом-США), три рабочих длины волны, градиентное многомодовое волокно, скорость передачи информации 45мБит/с.

1980 - передача по волоконной линии видеосигнала с Зимней Олимпиады в Лейк Плэсиде (градиентное многомодовое волокно, рабочая длина волны 0.85 мкм).

1981г- получена скорость передачи сигнала 140 Мбит/с в одномодовом волокне длиной 49 км, рабочая длина волны 1.3 мкм. Начало работ с одномодовыми волокнами со смещённой дисперсией.

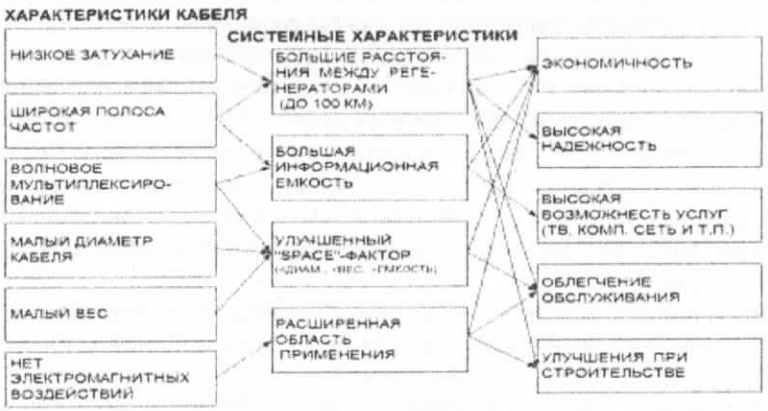
1983 г- стандартизовано одномодовое волокно с нулевой дисперсией на длине волны 1.3 мкм (G.652).

1987 г- разработан эрбиевый оптический усилитель. Начало работ по внедрению ВОЛС со спектральным уплотнением.

1988 г- первая трансокеанская ВОЛС- ТАТ-8. Она началась в США (Монахокин) и в океане разветвлялась на два направления: к мысу Пенмарк во Франции и к полуострову Корнуолл в Англии .На всех предыдущих трансатлантических линиях от ТАТ-1(1956г) до ТАТ-7(1983г) в качестве транспортного средства использовался коаксиальнай кабель.

ОК содержал три пары оптических волокон (ОВ)- две рабочие и одну резервную. Линия была оснащена цифровой системой передачи

Высокая защищённость от несанкционированного доступа. Поскольку ВОК практически не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приёма-передачи. Системы мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить "взламываемый" канал связи и подать сигнал тревоги. Сенсорные системы, использующие интерференционные эффекты распространяемых световых сигналов (как по разным волокнам, так и разной поляризации) имеют очень высокую чувствительность к колебаниям, к небольшим перепадам давления. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.



ЗАМЕЧАТЕЛЬНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО!!!

Малый вес и объём.

Волоконно - оптические кабели(ВОК) имеют в 10 раз меньший вес и объём по сравнению с медными кабелями в расчёте на одну и ту же пропускную способность

Взрыво -и пожаробезопасноть. Надежная техника безопасности. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает безопасность сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска или под высоким напряжением.

Экономичность ВОК. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличии от меди. В настоящее время стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5.

Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенствованию 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 приёмо- передающих систем.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, **волоконно-оптические системы имеют такженедостатки**, главным образом из-за дороговизны прецизионного монтажного оборудования и надёжности лазерных источников излучения. Многие из недостатков вероятней всего будут нивелированы с приходом новых конкурентноспособных технологий в волоконно-оптические сети.

Стоимость интерфейсного оборудования. Электрические сигналы должны преобразовываться в оптические и наоборот. Цена на оптические передатчики и приёмники остаётся пока довольно высокой. При создании оптической линии связии также требуются высоконадёжное специализированное пассивное коммутационное оборудование, оптические соединители с малыми потерями и большим ресурсом на подключение- отключение, оптические разветвители, аттенюаторы.

Монтаж и обслуживание оптической линии. Стоимость работ по монтажу, тестирование и поддержке волоконно-оптических линий связи также остаётся высокой. Если же повреждается ВОК, то необходимо осуществлять сварку волокон в месте разрыва и защищать этот участок кабеля от воздействия внешней среды. Производители тем временем поставляют на рынок всё более совершенные инструменты для монтажных работ с ВОК, снижая цену на них.

Требования специальной защиты волокна. Первоначальная прочность на разрыв стеклянного волоконного световода сравнима с прочностью стальной нити, такого же диаметр как ОВ. Стекло, как материал, выдерживает нагрузки с пределом прочности на разрыв выше 1ГПа10^9 Н/м^2). Это, означает, что волокно в единичном количестве с диаметром 125 мкм выдержит вес гири в 1 кг На практике это не достигается. Причина в том, что механические воздействия, в процессе вытягивания световода и эксплуатации, воздействие окружающей среды приводят к сильному уменьшению прочности ОВ за счёт образования микротрещин, которые увеличивают вероятность обрыва волокон.

Для повышения надёжности оптическое волокно при изготовлении покрывается защитными покрытиями, а сам оптический кабель упрочняется силовыми элементами, например нитями на основе кевлара. Если требуется удовлетворить ещё более жестким условиям на разрыв, кабель может упрочняться специальным стальным тросом или стеклопластиковыми стержнями. Но всё это влечёт увеличение стоимости оптического кабеля.

Удалённое электропитание. В некоторых случаях требуется удалённое электропитание узла информационной сети. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако, в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом.

К недостаткам оптических волокон следует так же отнести **подверженность** оптических волокон **радиации,** за счёт которой появляются пятна затемнения и возрастает затухание, а так же водородную коррозию стекла(чувствительность оптического волокна к воздействию влаги, при её попадании в кабель), приводящую к появлению микротрещин в световоде и ухудшению их свойств.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!!!

Самой дешёвой является связь по световоду и волноводу, затем по коаксиальному кабелю и, наконец, самой дорогой является связь по воздушным линиям

Выводы

Приведены основные определения в системах и сетях телекоммуникаций и классификация сетей связи, показано отличие первичных и вторичных сетей связи. Уровневое представление телекоммуникационных сетей позволяет рассматривать их в виде глобальной, национальной и местных транспортных сетей. Приведена классификация и область применения направляющих систем. приводятся линии связи используемые в сетях телекоммуникаций их виды, свойства а также подробные сведения о волоконно-оптических линиях связи.

Контрольные вопросы:

1. Основные определения в телекоммуникациях.
2. Классификация сетей связи.
3. Уровневое представление телекоммуникационных сетей.
4. Местные транспортные сети
5. Классификация и область применения направляющих систем.
6. Волоконно-оптические линии связи.
7. Обоснование возможности волоконно-оптической связи.
8. Этапы развития волоконно-оптической связи.
9. Достоинства и недостатки оптических линий связи.
10. Сравнение различных направляющих средств.

2.ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПАРАМЕТРЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

2.1. Типы оптических волокон. Оптические кабели, их конструкции и свойства

Человек издавна использовал свет в качестве источника сигналов, например маяки, костры и тому подобное. Еще в те далекие времена он фактически построил то, что сегодня мы называем оптической линией связи или оптической системой связи, включающей передатчик (источник), модулятор, оптическую кабельную линию и приемник (глаз). Определив в качестве модуляции преобразование механического сигнала в оптический, например открытие и закрытие источника света, мы можем наблюдать в приемнике обратный процесс - демодуляцию: преобразование оптического сигнала в сигнал другого рода для дальнейшей обработки в приемнике.

Такая обработка может представлять собой, например, превращение светового образа в глазу в последовательность электрических импульсов нервной системы человека. Головной мозг включается в процесс обработки как последнее звено цепи. Другим, очень важным параметром, используемым при передаче сообщений, является скорость модуляции. Глаз в этом отношении имеет ограничения. Он хорошо приспособлен к восприятию и анализу сложных картин окружающего мира, но не может следить за простыми колебаниями яркости, когда они следуют быстрее 16 раз в секунду. В отличие от глаза, современные оптические системы используют в качестве световых приемников технические устройства - фотоэлементы или фотодиоды, позволяющие отслеживать значительные частоты колебаний.

Одиночная двухпроводная цепь, одиночная коаксиальная пара являются в электрической технике связи редким явлением. Как правило, электрический кабель состоит из нескольких пар. Общая броня защищает их от окружающего влияния различного рода - повреждения грызунами, влажности и механических воздействий.

Световод, так же как и электрический проводник, помимо применения в качестве одиночного проводника света включается в состав оптического кабеля, и к нему предъявляются требования, аналогичные требованиям, предъявляемым к электрическим

кабелям. Однако электрические проводники и световоды настолько сильно различаются, что было бы удивительно, если бы электрические и оптические кабели не отличались между собой по конструкции, способам монтажа, прокладки и эксплуатации. Вместе с тем имеется многолетний опыт механической защиты тонких проводников (медные провода толщиной в десятые доли миллиметра используются достаточно широко), который может быть использован для защиты чувствительных стеклянных волокон. Когда речь идет о различии между световодами и медными проводниками, необходимо назвать основное свойство, которое до сих пор вообще еще не называлось: абсолютная нечувствительность световода по отношению к помехам от электрического и магнитного полей. Здесь можно было бы сказать, что экранирование электрических кабелей для защиты их от внешних электромагнитных помех абсолютно излишне в оптических кабелях. Основную роль играет, конечно, сам материал - стекло, которое выступает теперь в качестве заменителя ценного цветного металла - меди. Этот материал-заменитель обусловливает большой экономический выигрыш. Запасы меди в мире постоянно истощаются, а цены растут. По некоторым прогнозам еще на исходе столетия месторождения на суше, известные сегодня, будут исчерпаны. Основной материал для стеклянных оптических волокон - кварцевый песок - имеется в больших количествах. В технике связи несколько килограммов меди могут быть заменены 1 г стекла высокой очистки, если за основу принять одинаковую пропускную способность кабеля. Из этого соотношения следует еще одно преимущество: оптические кабели легче электрических. Это особенно заметно в кабелях с высокой пропускной способностью - из-за малого диаметра световода. Ясно, что оба эти свойства являются, непосредственным преимуществом во многих областях применения.

Наконец, необходимо указать на фактор гальванической развязки передатчика и приемника. В оптической системе они электрически полностью изолированы друг от друга, и многие проблемы, связанные с заземлением и снятием потенциалов, которые до сих пор возникали при соединении электрических кабелей, теряют силу. Наряду с этими полезными параметрами необходимо конечно, назвать другие, по которым оптические

волокна уступают меди и которые должен учитывать конструктор кабелей.

Это, прежде всего чувствительность незащищенного волокна к водяному пару. Это критическое свойство было очень скоро обнаружено, но было также обнаружено и противодействие ему: непосредственное покрытие световода защитной пленкой толщиной несколько микронметров непосредственно в процессе вытягивания волокна.Эта защитная оболочка, в основном состоящая из полимера, полностью защищает световод. Она повышает также механическую прочность световода и его упругость. Кроме того, обеспечивается постоянство параметров при неблагоприятных окружающих условиях; без защитной оболочки они снижаются уже через несколько часов или дней.

Механический предел прочности при разрыве для волокна довольно высок и соответствует прочности стали. Однако стекло хрупко, изгибы с малым радиусом волокно не выдерживает и ломается. Но и этот недостаток относителен: стекловолокно, снабженное упомянутым тонким защитным слоем, вполне можно обмотать вокруг пальца, а некоторые сорта - даже вокруг тонкого карандаша. Учитывая это типичное свойство стекла, необходимо, конечно, принимать меры защиты в тех случаях, когда несколько световодов объединяются в одном кабеле, который в дальнейшем будет изгибаться и скручиваться. Это случается при намотке на барабан и при укладке. Конструкция кабеля должна быть такой, чтобы устранить механические перегрузки световода. Но опасны не только разрушение волокна, но и микроизгибы. Они возникают, когда светопроводящие волокна лежат на шероховатой поверхности в условиях приложения растягивающей силы, и могут вызывать дополнительные световые потери. Это явление можно наблюдать в демонстрационном опыте, когда к светопроводящему волокну, туго, виток к витку намотанному на барабан, подводится видимый свет, например от He-Ne лазера. Весь барабан при этом излучает яркий красный свет, что указывает на световые потери, вызванные микроизгибами. Чтобы уменьшить механические нагрузки на волокна, был опробован ряд решений. Отдельные проводники свободно укладываются в поперечном сечении кабеля; в процессе изготовления кабеля следят за тем, чтобы волокна были несколько длиннее, чем кабель.

При колебаниях окружающей температуры от конструкции кабеля существенно зависят механические силы, которые действуют на световод. Единственным слабым местом, кажется, является оболочка волокон со ступенчатым показателем преломления. Ее показатель преломления, который лишь ненамного меньше показателя преломления сердечника, может в неблагоприятных случаях увеличиться при низких температурах, чем будут нарушены условия полного внутреннего отражения и соответственно появятся дополнительные потери на излучение.

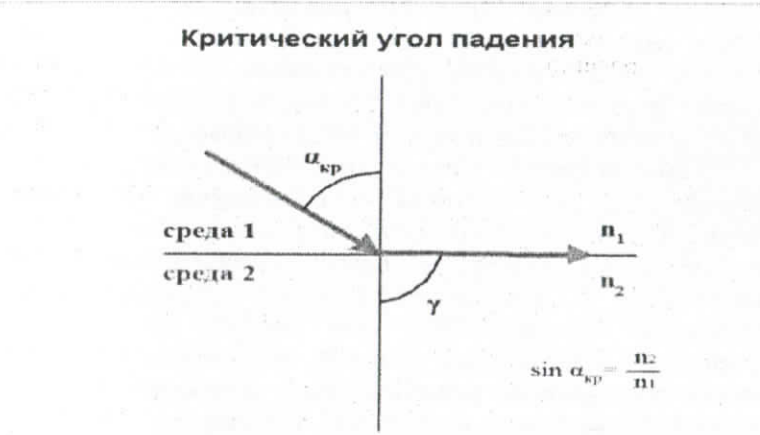
Светоизлучающие диоды прежде всего "медлительнее" лазеров. В зависимости от конструкции, имеющиеся сегодня в распоряжении типы, как правило, могут быть модулированы частотами 30 - 50 Мгц. Если же необходимо передать быстрые двоичные сигналы со скоростью свыше 30 Мбит/с, то почти всегда применяется лазер ввиду его большой световой мощности. Для него граница модуляции лежит в пределах нескольких сотен мегагерц, а иногда выше 1 ГГц. Хотя светоизлучающий диод еще не достиг границ своих возможностей (в настоящее время уже имеются отдельные типы диодов, модулируемых со скоростью 150 Мбит/с; по прогнозам до 1 Гбит/с), все же лазер имеет преимущество в виде более высокой выходной мощности.Наконец, необходимо принять во внимание, что ширина передаваемой полосы частот ограничивается не только быстродействием самого излучающего диода. Здесь важным фактором являются также дисперсионные свойства световода. Помимо этого необходимо обратить внимание еще на одно свойство излучающего диода: большая ширина спектра излучения светоизлучающего диода в сочетании со световодом может привести к ограничению ширины передаваемой полосы частот. Это свойство может играть существенную роль, когда речь идет о том, чтобы максимально использовать высокую пропускную способность световодов, а уширение импульса из-за дисперсии материала допускать в минимальных пределах.В настоящее время появилось четвертое поколение оптических передатчиков, давшее начало когерентным системам связи - то есть системам, в которых информация передается модуляцией частоты или фазы излучения. Такие системы связи обеспечивают гораздо большую дальность распространения сигналов по оптическому волокну

Преимущества оптоволокна:

- **Диэлектрик**
  - Не является источником излучения
  - Конфиденциальность передачи
  - Невосприимчивость к радио- и электромагнитным помехам
  - Невосприимчивость к удару молнии
- **Небольшой размер**
  - Малые габариты канала
- **Малое затухание**
  - Больше пробег/меньше ретрансляторов
  - Простота установки и технического обслуживания
- **Оптические сигналы**
  - Не требуется заземление
  - Отсутствие искрения
  - Работает в огнеопасной среде
- **Большая ширина диапазона**
  - Увеличение пропускной способности

а)

б)



в)

Рис.2.1.Строение оптического волокна (а),закон отражения и преломления (б),Критичекий угол падения (в).

2.2.Основные составляющие элементов оптоволокна. Строение оптоволокна.

Стержень - зона прохождения света через волокно (стекло или пластик). Чем больше диаметр стержня, тем больший пучок светового излучения передается по волокну

Оболочка - обеспечивает достаточно низкий показатель преломления на поверхности стержня, чтобы вызвать эффект полного внутреннего отражения в сердечнике для передачи световых волн через волокно.

Покрытие - представляет собой многослойную пластмассовую оболочку, предназначенную для защиты волокна от ударов и других внешних воздействий. Такие буферные покрытия имеют толщину от 250 до 900 мкм.

Диаметр волокна - размеры стекловолокна обычно характеризуются внешним диаметром сердечника, оболочки и покрытия. Например: 50/125/250 указывает, что у оптоволокна диаметр сердечника — 50 микрон, оболочки — 125 микрон и покрытия — 250 микрон. Для сравнения — лист бумаги по толщине приблизительно равен 25 микронам. При подключении или соединении волокон покрытие всегда удаляется.

Типы волокон - волокно различается по типаммаршрутов световых лучей или способам их прохождения по сердечнику волокна. Существует 2 основных типа волокон: многолучевое и однолучевое (в литературе более распространены термины многомодовое и одномодовое волокна. — ред.). Волокна с сердечником многолучевого типа делятся на шаговые и ступенчатые. Многолучевой шаговый тип волокна получил свое название из-за резкой, подобно скачку, разности в показателях преломления сердечника и оболочки. световых лучей по волокнам разных типов

В более распространенном ступенчатом сердечнике световые лучи также распространяются по волокну многолучевыми трассами, но в отличие от шагового ступенчатый сердечник содержит много слоев стекла, каждый с более низким коэффициентом преломления, в направлении от оси. В результате такой градации световые лучи ускоряются на внешних слоях, с тем чтобы совпасть с лучами, проходящими более короткими траекториями, идущими вблизи от оси. Волокно со ступенчатым сердечником диаметром 50, 62.5 и 100 микрон выпускается серийно. Волокно однолучевого типа

позволяет передавать по сердечнику единичные световые лучи. Это фактически устраняет любое искажение из-за наложения световых импульсов друг на друга.

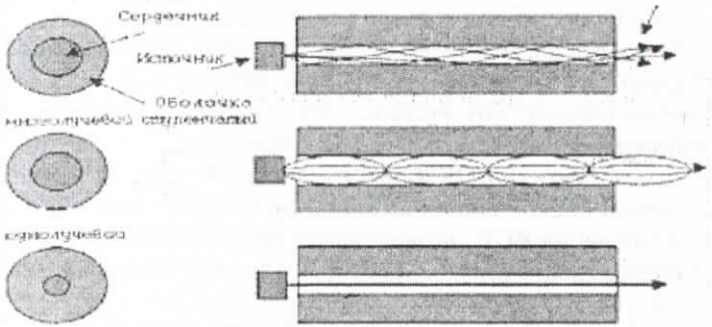


Рис.2.2.Графическое изображение прохождения луча

Сердечник волокна однолучевого типа чрезвычайно мал по размеру, приблизительно 5...10 микрон. Волокно однолучевого типа обладает более высокой пропускной способностью и мощностью по сравнению с многолучевыми. Например, телекоммуникационный кабель для подводного использования может передавать до 60000 каналов телефонной радиосвязи на паре волокон однолучевого типа.При подборе компонентов для оптоволоконных систем учитываются 2 параметра оптоволокна, влияющие на эффективность трансляции: ширина полосы пропускания и затухание.

В глобальных сетях связи (ГСС) для передачи сигнала используются различные среды: радиоэфир (в радиосистемах, например, РРЛ), медные провода и кабели (в ТфОП и ЛВС), волоконно-оптические кабели (ВОК) (в ТфОП, ЛВС и ГСС). Из них в ГСС и ТфОП в последнее время все большее распространение (по крайней мере на магистральных участках ВСС РФ) получают ВОК. Это вызвано определенными преимуществами ВОК, основные из них:

- широкая полоса пропускания, позволяющая передавать цифровые агрегатные потоки емкостью (скоростью) до нескольких десятков Тбит/с;низкий уровень затухания сигнала

при распространении, позволяющий передавать сигналы без регенерации на расстояния до 640 км;

- нечувствительность к электромагнитным помехам, позволяющая прокладывать ВОК в местах с высоким уровнем таких помех, в том числе использовать для этой цели ЛЭП и опоры контактной силовой сети железных дорог;
- практическое отсутствие собственных электромагнитных помех, позволяющее снять проблему электромагнитной совместимости ВОК и других типов кабелей;
- возможность использования полностью диэлектрического исполнения ВОК, позволяющая снять проблему грозозащиты, блуждающих токов, коррозии, а следовательно, повысить срок службы ВОК.

Другие преимущества, такие как малые масса и размеры ВОК, его пожаробезопасность, а также значительная сложность перехвата передаваемых сообщений (на фоне снижения цен практически ниже уровня цен на медные кабели) делают их использование еще более привлекательным.Если учесть, что скорость передачи первого уровня иерархии SDH, технологии, заменившей технологию PDH, составляет 155 Мбит/с, а также то, что сети SDH заменяют в настоящее время кроме цифровых сетей PDH еще и тысячи километров аналоговых сетей ТфОП, становится понятным, почему ВОК используется в настоящее время как единственная перспективная среда передачи сигнала на магистральных участках ВОСП.Наряду с этим ВОК все шире используется в сетях кабельного телевидения (КТВ), а также все активнее вытесняет медные кабели с их исконной вотчины - сети доступа и абонентских линий, внедряя пассивные оптические сети (ПОС) вплоть до дома/офиса.

2.3. Основные физические понятия

В отличие от медного провода переносчиком сигнала в оптическом волокне является не электрический ток, а световой луч, распространение которого в оптически прозрачной среде (оптоволокне) как луча или волны должно подчиняться законам оптики. Законы оптики различны в зависимости от того, в каких рамках справедливости - линейной или нелинейной оптики - они рассматриваются. Свет, в соответствии с корпускулярно-волно-вым дуализмом, может рассматриваться как волна (тогда к нему применимы законы линейной и нелинейной, но классической

оптики) или как поток частиц – фотонов. Фотон имеет квантовую природу: может рождаться, поглощаться, превращаться в другие частицы, подчиняясь законам квантовой механики (значит, к свету в этом случае должны применяться законы квантовой оптики).

Для понимания особенностей распространения света в рамках линейной волновой оптики достаточно вспомнить: закон прямолинейного распространения света; закон независимости световых пучков; законы преломления и отражения света на границе раздела сред, законы поглощения.

Для оптически прозрачной среды процесс распространения света неотделим от процесса взаимодействия луча со средой, если учесть, что свет не просто луч, а электромагнитное излучение определенной длины волны, взаимодействующее со средой в процессе распространения. Его поведение подчиняется законам электромагнитного взаимодействия и описывается волновыми функциями, являющимися решениями системы уравнений Максвелла. Достаточно вспомнить такие понятия, как мода колебаний, поляризация, двойное лучепреломление, затухание, вызванное рассеянием и поглощением, дисперсия и др., которые могут быть рассмотрены как в рамках линейной, так и нелинейной волновой оптики.Будучи потоком фотонов (частиц/корпускул), свет взаимодействует со средой распространения, подчиняясь законам квантовой оптики. Для понимания особенностей взаимодействия в этом случае нужно иметь в виду, что источником излучения в оптических системах является лазер, интенсивность излучения которого значительно выше интенсивности обычных источников света, а это приводит к необходимости учета не только квантовых, но и дополнительных нелинейных эффектов.Достаточно вспомнить: нелинейное преломление, фазовую модуляцию, фазовую кросс-модуляцию, вынужденное неупругое рассеяние и некоторые другие нелинейные квантовые эффекты.Указанное выше требует в целом довольно серьезных знаний, в первую очередь в области оптики, которыми располагают далеко не все инженеры-связисты, занимающиеся построением ВОЛС. Положение усугубляется еще и тем, что в ряде доступных изданий по волоконной оптической технике (ВОТ) авторы довольно свободно используют не совсем привычную или понятную "оптическую" терминологию. Для облегчения восприятия этого нового для связистов "жаргона" авторы попытались, не вдаваясь в

подробности описания указанных законов и эффектов, но все же называя их, "на пальцах" (в меру своего понимания) кратко пояснить, как они проявляются и чем обусловлены основные свойства оптических волокон, важные для систем связи, а уже потом описывать оптические устройства и системы.Оптическое волокно (ОВ) в простейшем случае состоит из сердцевины и оболочки. Они имеют разные (хотя и близкие по величине) показатели преломления пс и поб, соответственно. Сердцевина при этом используется, собственно, как среда передачи, а оболочка используется для создания границы раздела между ней и сердцевиной, как между двумя физическими средами. Эта граница формирует физический канал волноводного типа - световод, по которому и распространяется световой луч - переносчик передаваемого сигнала. Оптическое волокно может быть как стеклянным, так и пластмассо вым. Однако в настоящее время, как правило, используется волокно, изготовленное из кварцевого стекла (SiO^), имеющего по сравнению с другими стеклами меньшее затухание в полосе длин волн, используемых для сетей связи.. В учебнике это определение формулируется так: "Стекло - это квази-равновесная, изотропная, структурно-неупорядоченная система, обладающая механическими свойствами твердых тел, например упругостью формы. Среда, в которой могут распро страняться продольные и поперечные упругие волны". Важным для нас (из этих определений) являются факты изотропности и отсутствия кристаллической структуры, а также возможности распространения продольных и поперечных упругих волн.

Изготовление волокна происходит в два этапа :

1. изготовление цилиндрической заготовки с заданным профилем показателя преломления, например методом химического осаждения из газовой (паровой) фазы - CVD;
2. вытягивание заготовки в волокно с сохранением соотношения диаметров сердцевины и оболочки.

Свойства волокна, основанные на законах геометрической оптики

Некоторые фундаментальные закономерности/свойства волокна как любой прозрачной оптической среды можно объяснить законами

линейной (геометрической) оптики, основанными на прямолинейности распространения светового луча и свойстве изотропности - одинаковости распространения света в среде во всех направлениях (стекла являются однородными и изотропными средами). К этим законам относятся законы отражения/преломления света и основанные на них явления.

Полное внутреннее отражение

Физической основой передачи светового сигнала по световоду (оптоволокну) является явление полного внутреннего отражения (ПВО) света от границы раздела двух сред с различными показателями преломления. Для его реализации в оптоволокне показатель преломления сердцевины n_c должен быть больше, чем показатель преломления оболочки $n_{об}$. Явление ПВО при этом наблюдается только для луча, падающего под углом, равным или большим угла ПВО (напомним, что это угол между падающим лучом и нормалью к поверхности в точке падения), и состоит в том, что при ПВО преломленный луч скользит по границе раздела и как бы исчезает из рассмотрения, тогда как вся энергия падающего луча передается отраженному лучу, который претерпевает серию повторных отражений под углами ПВО и распространяется вдоль по волокну. Угол ПВО θ_n может быть вычислен по закону Снеллиуса:

$$\theta_n = \arcsin(n_{об} / n_c) \qquad (2.1.)$$

Если принять, например, что n_c=1,48, $n_{об}$=1,46, то (2.1.) даст значение угла ПВО θ_n= 80,6°. На рис. 2.3 показано распространение лучей по волоконному световоду, имеющему такое соотношение показателей преломления (для простоты считаем, что границы раздела на левом срезе не существует, т.е. показатели преломления слева и справа от нее одинаковы). Луч 2 падает под углом ПВО=θ_1 (преломленный луч 2 скользит по границе раздела сердцевина-оболочка), луч 1 падает под углом большим, чем θ_1 (преломленный луч 1 отсутствует, отраженный луч 1 распространяется внутри сердцевины). В идеальном случае (при отсутствии рассеяния света и нулевой дисперсии) луч 1 мог бы распространяться внутри сердцевины с n_1 на сколь угодно большое расстояние. Луч 3 падает под углом, меньшим θ_1, поэтому возникает преломленный луч 3, который, падая на границу оболочки, отражается от границы

раздела: среда с n_2 внешняя среда, допустим под углом ПВО=θ_2, в результате распространяется по оболочке. Луч 4, падая под еще меньшим углом, проходит через обе границы раздела, создавая как отраженный от второй границы луч 4, так и преломленный луч 4, излучаемый во внешнее пространство.

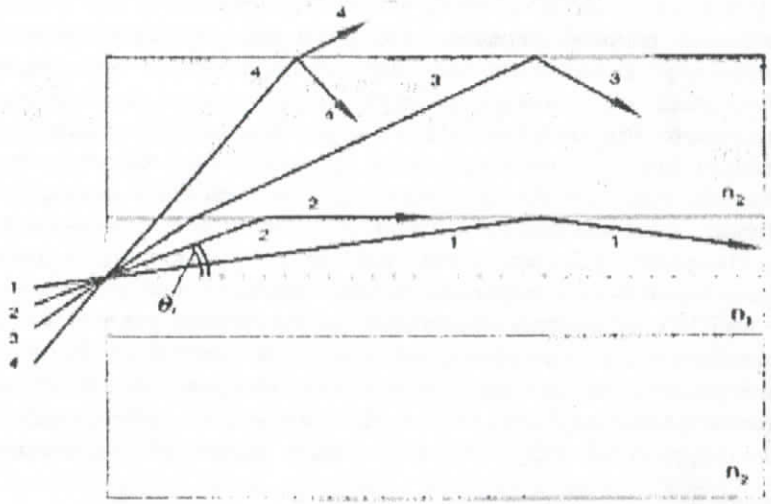


Рис.2.3. Распространение луча по световоду

Числовая апертура

Учитывая конечный диаметр сердцевины d_c, в оптическое волокно попадает и распространяется не один луч, а пучок лучей, образующий входной конус с углом при вершине $2\varphi_a$, определяемым так называемой числовой апертурой NA (эквивалентом половинного угла при вершине конуса, равного апертурному углу φ_a)

а. $NA_0 = \sin\varphi_a = \sqrt{(n_c^2 - n_{об}^2)}$, или $NA_1 = k\sqrt{(n_c^2 - n_{об}^2)}$ (2.2.)

Здесь в (2.2.) приведены две формулы для вычисления NA. Они дают близкие значения числовой апертуры. Первая формула используется для теоретических, а вторая - для практических

расчетов, причем k=0,98 или k=0,94v зависимости от методики измерений. Для данных, приведенных выше к рис.2.2.3, указанные формулы дают следующие значения числовой апертуры: 0,242487 (теоретическая) или 0,237637 (k=0,98) и 0,227938 (k=0,94).

Лучи, которые попадают под углом $\varphi \le \varphi_a$, называются апертурными (на рис. 2.3 им соответствуют лучи 1 и 2). Они, испытывая ПВО, распространяются по волокну. Лучи, для которых $\varphi > \varphi_a$, начинают распространяться по волокну, но постепенно затухают, так как при многократном отражении отдают часть энергии преломленному лучу, выходящему из сердцевины в оболочку. Эти лучи называются внеапертурными и делятся на те, которые распространяются по оболочке, например, луч 3 (там же), и те, которые выходят за границы волокна, - луч 4 (там же).

Числовая апертура характеризует собирательную способность волокна по отношению к входному излучению. В зависимости от типа волокна она может меняться от 0,13 до 0,28.

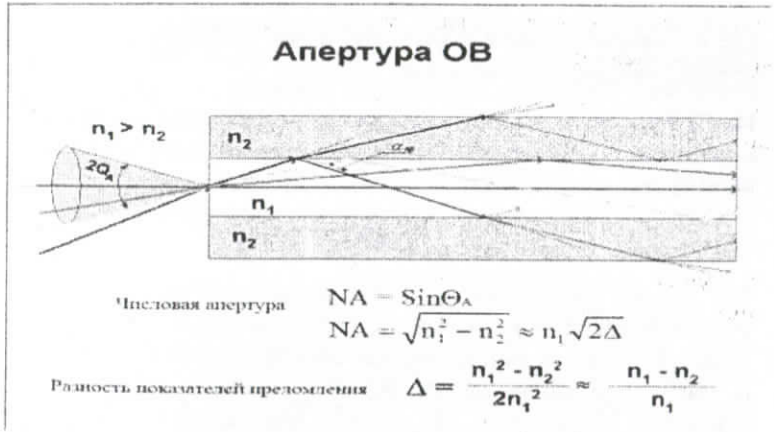


Рис.2.4 Апертура ОВ

Свойства волокна, основанные на законах электромагнитного поля

Свет как электромагнитная волна взаимодействует с веществом среды. Распространяясь по стеклу, свет взаимодействует, грубо

говоря, со всем, что есть внутри: с электронами, молекулами, ионами, дефектами. Характер взаимодействия от этого может быть, в общем случае, разный. Так, падающий свет - первичная волна, заставляет колебаться заряженные частицы - электроны, а значит, и молекулы в целом (которые электрически изотропны), создавая вторичные волны той же частоты, которые (по направлению) совпадают с первичной ввиду изотропности молекул.

В оптически однородной и изотропной среде в результате интерференции (наложения) первичной и вторичных волн образуется проходящая волна, фазовая скорость которой v_ϕ зависит от частоты.

Электрические и магнитные свойства вещества световода, определяющие его взаимодействие со световой волной, характеризуются относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями ε, μ и удельной проводимостью. Фазовая скорость волны при этом определяется соотношением:

$$v_\phi = c/\sqrt{(\varepsilon\mu)} = c/n(\omega), \qquad (2.3.)$$

где с - скорость света в вакууме, а $n(\omega)$ - показатель преломления среды, зависящий от частоты.

Из (2.3.) видно, что фазовая скорость обратно пропорциональна показателю преломления среды n, который, собственно, и зависит от частоты.

Моды колебаний

На уровне электромагнитного взаимодействия с молекулами учитываются пространственные электрические Е и магнитные Н поля и явления поляризации, как электрической поляризации Р, так и магнитной поляризации В, допускающие колебания соответствующих векторов (Е, Н) только в определенных плоскостях, что приводит к появлению в световоде многих типов колебаний, или мод (аналогично тому, что имеет место в СВЧ-волноводе). При этом учитывается соблюдение "волноводных/свето-водных" условий распространения: длина волны света λ_c в оптоволокне имеет порядок 0,8-1,5 мкм, а диаметр световода dc - 10-60 мкм (т.е. примерно соблюдается соотношение $\lambda_c >> d_c$).

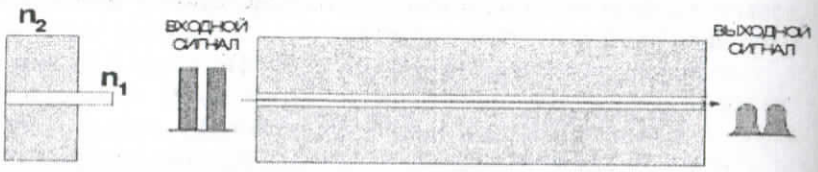
Типы колебаний, или моды, определяются решениями системы

уравнений Максвелла. При этом световод можно представить идеальным цилиндром с продольной осью z (причем точка z_0 считается началом световода), а оси x и y в поперечной (xy) плоскости образуют горизонтальную (xz) и вертикальную (yz) плоскости. В этой системе координат существуют 4 класса волн (учитывая, что Е и Н ортогональны):

- поперечные Т: $E_z = H_z = 0$; E = E; H = H_x;
- электрические E : $E_z \neq 0$, $H_z = 0$; E = (E_y, E_z) - распространяются в плоскости (yz);H = H_x;
- магнитные H: $H_z \neq 0$, $E_z = 0$; H = (H_x, H_z) - распространяются в плоскости (xz); E = E_y;
- смешанные (гибридные) EH или HE: $E_z \neq 0$, $H_z \neq$ O;E = (E_y, E_z),H = (H_x, H_z)-распространяются в плоскостях (xz) и (yz).

В оптическом волокне существуют два типа мод **HE*mn* и EH*mn***. При $m > 0$ имеем гибридные моды, а при m=0- поперечные моды TE_{01} и TH_{01}. Моды, соответствующие апертурным лучам, называются направляемыми, а внеапертурным лучам - излучающими. Часть внеапертурных лучей распространяется в оболочке, соответствующие им моды иногда называют оболочечными. Они играют определенную роль в уменьшении дисперсии волокон с плавным изменением профиля показателя преломления и со сдвигом дисперсии (см. ниже).Чем меньше диаметр dc, тем меньше сечение светового потока, поступающего в оптическое волокно, тем меньше различных типов колебаний (обусловленных множеством решений уравнения Максвелла), или мод, возникает в оптоволокне. Волокно, в котором распространяется несколько мод, называется многомодовым (ММ), а то, в котором распространяется одна мода, - одномодовым (ОМ). Для промышленно выпускаемых световодов ОМ волокно имеет диаметр 7-10 мкм, а ММ волокно, как правило, 50 и 62,5 мкм (см. ниже). В ОМ волокне поддерживается только одна гибридная мода HE_{11}, называемая основной модой, в ММ волокне поддерживаются различные, как поперечные, так и гибридные моды.

СТУПЕНЧАТОЕ ОДНОМОДОВОЕ ВОЛОКНО



При d = 8,5мкм
D = 125мкм
n1 = 1,46
Δ = 0,003

$\sin\Theta = NA \approx 0{,}113 \quad \Theta \approx 6{,}5^{\circ}$

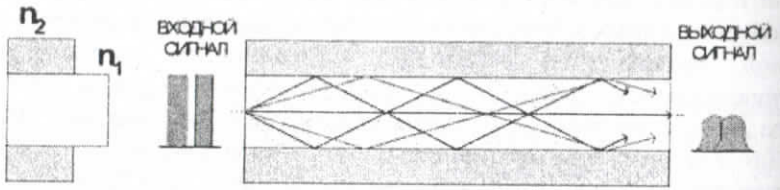
$V = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot NA = 3{,}14 \times 8{,}5/1{,}55 \times 0{,}113 \approx 1{,}94$

Количество мод $N = (1{,}94)^2/2 \approx 1{,}89$

Рис.2.5. Ступенчатое одномодовое волокно

Ё-

СТУПЕНЧАТОЕ МНОГОМОДОВОЕ ВОЛОКНО



При d = 100мкм
D = 140мкм
n1 = 1,48
n2 = 1,46

$\sin\Theta = NA \approx 0{,}242 \quad \Theta \approx 14{,}0^{\circ}$

$V = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot NA = 3{,}14 \times 100/0{,}85 \times 0{,}242 \approx 89{,}4$

Количество мод $N = (89{,}4)^2/2 \approx 4000$

Рис.2.6. Ступенчатое многомодовое волокно

Геометрические размеры

Многомодовые волокна:
A=50мкм; 62,5мкм; 85мкм; 100мкм;
B=125мкм;
C=250; 400мкм; 500мкм; 600мкм; 900мкм;

Одномодовые волокна:
A=7-10мкм;
B=125мкм;
C=250мкм; 400мкм; 500мкм; 600мкм; 900мкм;

Рис.2.7. Геометрические размеры

ЗАТУХАНИЕ СВЕТА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

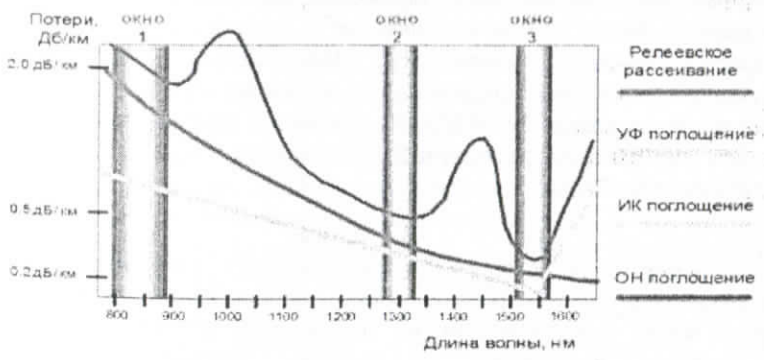


Рис.2.8 Затухание света в оптическом волокне.

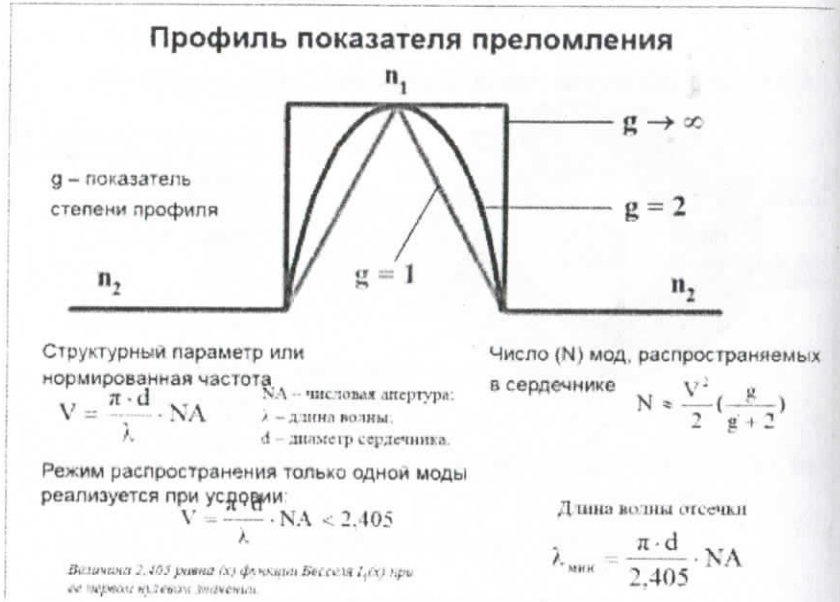


Рис.2.9 Профиль показателя преломления

Основные свойства волокна.Ширина полосы пропускания

Ширина полосы — это параметр пропускной способности волокна. Чем больше ширина полосы, тем больше информационная емкость. Пропускная способность характеризуется соотношением: частота/расстояние (МГц/км). Например, волокно 200 МГц/км способно передавать данные в полосе 200 МГц на расстояние до 1 км и в полосе 100 МГц на расстояние до 2 км.

Затухание

В дополнение к физическим изменениям импульсов света, возникающих из-за ограниченности полосы пропускания, также имеет место снижение уровня оптической мощности по мере прохождения импульсов по волокну. Такого рода потери оптической мощности или затухание измеряется в децибелах на километр (дБ/км) на указанной длине волны.

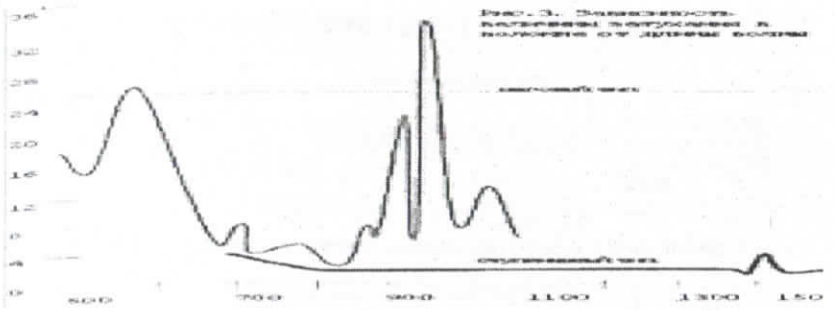


Рис.2.10.Потери в оптоволокне

Излучение, используемое в оптоволоконных системах, находится в инфракрасной части оптического спектра, в котором затухание при прохождении света через волокно сильно зависит от длины волны. Поэтому затухание или потери мощности должны измеряться для волн установленной длины для каждого типа волокна (см. рис. 2.10). Длина волны измеряется в нанометрах (нм) — миллиардная метра — и представляет собой расстояние между двумя циклами одной и той же волны. Количество потерянной оптической энергии, вызванное поглощением и рассеиванием излучения на определенной длине волны, выражается как коэффициент затухания в децибелах на километр (дБ/км).

Потери оптической мощности на волнах разной длины происходят в волокне из-за поглощения и рассеивания. Оптимальный режим эксплуатации волокна достигается на волнах определенной длины. Например, потери менее 1 дБ/км характерны для волокна многолучевого типа 50/125 мм, работающего при 1300 нм, и менее 3 дБ/км типичны для волокна этого же типа, работающего при 850 нм.Эти два диапазона длин волн — 850 и 1300 нм являются самыми распространенными и наиболее часто используемыми сегодня для передачи сигнала по стекловолоконным кабелям. Для этих длин волн промышленностью выпускаются сегодня передатчики и приемники. Наилучшее качество имеет стекловолокно, работающее в однолучевом режиме при длине волны 1550 нм.

ДИСПЕРСИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА.

Рис.2.11Дисперсия оптического волокна

Потери на микроизгибах

Без соответствующей защиты оптическое волокно подвержено оптическим потерям, вызванным микроизгибами.

ЧТО ТАКОЕ МИКРОИЗГИБЫ???

Микроизгибы — это временные отклонения волокна, вызванные поперечными нагрузками, которые влекут за собой потери оптической мощности в сердечнике.

Для сведения к минимуму влияния микроизгибов применяются разные способы защиты волокна. В отличие от волокон ступенчатого типа, волокна с сердечником шагового типа относительно устойчивы к потерям при микроизгибах.

Первичная защита волокна

Оптоволокно — очень тонкий световод. Внешние воздействия приводят к появлению микрозигзагов и, соответственно, к дополнительным потерям. Чтобы изолировать волокно от

воздействия внешних сил применяют два дополнительных защитных слоя — свободный буфер и плотный буфер (см. рис. 2.12).

Рис.2.12. Конструкция свободного и плотного буферов

Свободный буфер сконструирован таким образом, что волокно находитсяв пластиковой трубке, у которой внутренний диаметр значительно больше, чем само волокно. Как правило, внутри пластиковая трубка заполняется гелем. ***Свободный буфер изолирует волокно*** от внешних механических повреждений, воздействующих на кабель. Многоволоконный кабель обычно состоит из нескольких таких трубок, каждая из которых содержит одно или несколько волокон, объединенных закрепляющими компонентами для защиты волокон от внешнего давления и минимизации растяжения.

Другой способ защиты волокна — ***плотный буфер*** — использует прямое прессование пластика поверх основного слоя волокна. Строение плотного буфера дает возможность противостоять гораздо большей силе удара и силе давления и не влечет за собой разрыв волокна. Хотя плотный буфер более гибкий, чем свободный, оптические потери, вызванные сильными изгибами и скручиванием, из-за микроизгибов могут превышать номинальные технические нормы. Улучшенная конструкция плотного буфера — усиленный кабель, так называемый кабель breakout. В кабеле breakout волокно с плотным буфером окружено арамидной пряжей и покрытием, типа полихлорвинил. Затем одноволоконные элементы покрываются единой оболочкой для образования кабеля

breakout. Преимущества такого "кабеля в кабеле" обеспечивают упрощенное подключение и установку. Каждая из представленных конструкций имеет свои преимущества. Трубка свободного буфера дает более низкий коэффициент затухания кабеля при микроизгибах, чем в любом другом виде волокна, а также высокий уровень изоляции от воздействия внешних условий. При воздействии длительных механических нагрузок свободная трубка обеспечивает более стабильные параметры передачи. Конструкция плотного буфера проста и представляет собой гибкий и устойчивый к разрушению кабель.

Выбор физических параметров

Применяя свободный или плотный буфер, системный разработчик делает выбор между потерями при микроизгибах и гибкостью кабеля.

Для установки кабеля большое значение имеют механические свойства, такие как предел прочности, ударопрочность, гибкость. Требования к климатическим условиям — это устойчивость к воздействию влаги, химических веществ и ряду других атмосферных и внешних условий.

Механическая защита

Стандартная нагрузка кабеля, возникающая при установке, может в конечном итоге привести волокно в напряженное состояние. Напряжение может вызвать потери при микроизгибах, что в свою очередь приводит к увеличению коэффициента затухания. Для того чтобы перераспределить нагрузочные напряжения, упростить установку и увеличить срок эксплуатации, в конструкцию оптического кабеля добавляют различного рода внутренние укрепляющие элементы. Такие элементы обеспечивают нагрузочные напряжения, присущие электронному кабелю, и освобождают волокно от давления, сводя до минимума эффект вытягивания и сжатия кабеля. В некоторых случаях такие элементы действуют как термоизоляторы.

Таблица 3 демонстрирует сравнительные характеристики укрепляющих элементов. Оптоволокно перед разрывом слегка растягивается, поэтому укрепляющие элементы должны иметь низкий коэффициент удлинения. Есть и другие факторы, воздействующие на выбор подобного рода элементов, —

сопротивляемость удару, гибкость, изгиб и др.Укрепляющие элементы, которые, как правило, используются в оптоволоконном кабеле, включают в себя арамидную пряжу, стекловолоконный эпоксидный стержень (FGE) и стальной провод. Намотанная виток к витку арамидная пряжа оказывается в 5 раз прочнее стали. Вместе со стекловолоконным эпоксидным стержнем пряжа является обязательным компонентом при создании диэлектрика.Для эксплуатации при чрезвычайно низких температурах выбирают сталь и FGE, так как эти материалы более устойчивы к колебаниям температур.

2.4. Классификация волоконно-оптических кабелей

Классификация по конструктивным особенностям и характеристикам по отношению к окружающей среде. Выбор кабеля производится индивидуально для каждой трассы, исходя из условий прокладки и эксплуатации ВОЛС.

Классификация волоконно-оптических кабелей(см.приложение 1):

1.По типу оптических волокон: с одномодовыми волокнами (SM); с многомодовыми волокнами (MM); комбинированный (SM+MM)

2.По типу центрального силового элемента: со стальным тросом; с пластиковым тросом; с центральной трубкой

3.По типу буфера в модулях: с плотным буфером; со свободным буфером.

4.По типу силового элемента в оболочке: небронированный; скевларовыми нитями; бронированный стальной лентой; бронированный проволокой.

5.По наличию встроенного троса: со встроенным несущим тросом; без встроенного несущего троса

6.По величине допустимого растягивающего усилия:
В диапазоне(- 2,7 кН ÷ 20,0 кН).

7.По диапазону температуры эксплуатации.
В диапазоне (от -12 C^0÷ до +75 C^0).

8.По огнестойкости оболочки: с горючей оболочкой; с негорючей оболочкой

Примечание. Значения температуры эксплуатации и величины растягивающего усилия у разных производителей могут немного различаться.

Сколько вариантов ВОК в настоящее время Вы знаете!!!

Если учесть все указанные типы кабелей, а также число оптических волокон в кабеле, которое обычно при применении в локальных сетях составляет от 4 до 24, можно подсчитать, что число вариантов спецификаций волоконно-оптического кабеля превышает 100.000.

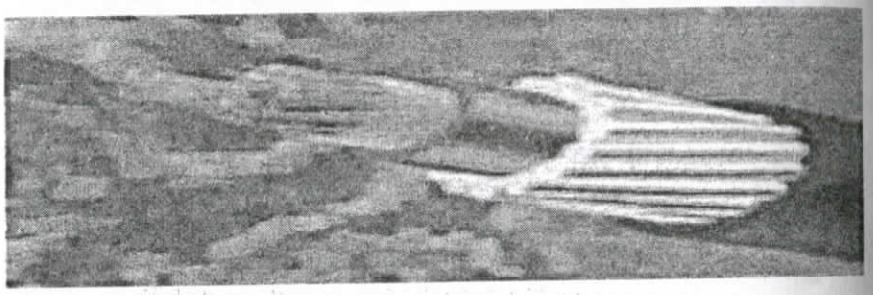


Рис 2.13 – Кабель для прокладки в грунт

Кабели с броней из стальной оцинкованной проволоки являются самыми защищенными от внешних воздействий и могут прокладываться без дополнительной защиты как в грунт, так и на дно рек Самый. легкий и гибкий оптический кабель для внешней прокладки. Идеален для прокладки в пластмассовых трубопроводах. Кабели с силовыми элементами из специальных высокопрочных нитей могут подвешиваться за внешнюю оболочку.

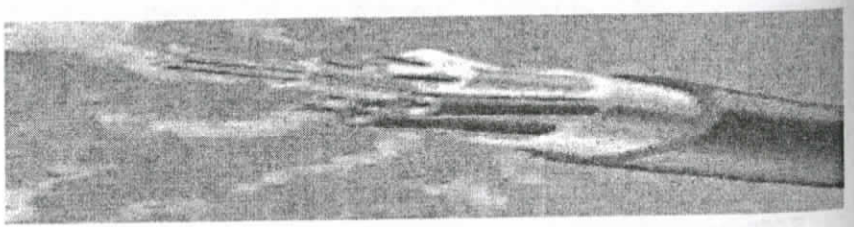


Рис.2.14 – Кабель для прокладки в пластмассовых трубопроводах

Рис.2.15 – Самонесущий кабель

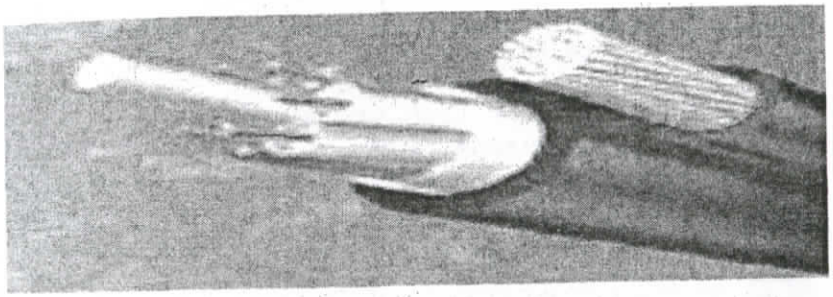


Рис.2.16. Подвесной кабель Легкие кали свынесеннымсиловым элементом для воздушной подвески

2.5.Основные характеристики типовых кабелей

Типы волоконно-оптических кабелей обычно сходны у различных компаний и делятся на следующие ниже приведенный перечень.

Волоконно-оптические кабели в броне из круглых стальных оцинкованных проволок и защитном шланге из полиэтилена - для прокладки через водные преграды, непосредственно в грунте, в кабельной канализации и других линейных сооружениях.

Волоконно-оптические кабели с оптическими волокнами в центральной трубке, в броне из круглых стальных оцинкованных проволок и защитном шланге из полиэтилена - для прокладки через водные преграды, непосредственно в грунте, в кабельной канализации и других линейных сооружениях. Волоконно-оптические кабели в стальной ленточной гофрированной броне, защитном шланге из полиэтилена - для прокладки в кабельной

канализации, трубах, блоках, коллекторах, тоннелях, на мостах и эстакадах, в станционных шахтах.

Небронированные волоконно-оптические кабели в полиэтиленовой оболочке для прокладки в пластмассовых трубах и внутри зданий.

Волоконно-оптические кабели полностью диэлектрические подвесные самонесущие для подвески на опорах воздушных линий связи и контактной сети электрифицированных железных дорог и городского транспорта

Волоконно-оптические кабели подвесные с выносным силовым элементом для подвески на столбах освещения. По типу оптических волокон кабели подразделяются на одномодовые и многомодовые. Число оптических волокон в кабелях обычно составляет от 4 до 216. Срок службы волоконно-оптических кабелей: как правило, не менее 25 лет.

По требованию заказчика кабели могут изготавливаться в защитной оболочке из материала, не распространяющего горения. В производстве волоконно-оптического кабеля на российских заводах-изготовителях используется оптическое волокно ведущих зарубежных фирм. У каждого завода-производителя свой тип обозначения и маркировки волоконно-оптических кабелей, а также имеются отличия в параметрах технических характеристик.Для примера сравним по одной марке кабелей СП ЗАО «Москабель-Фуржикура» (марка - ОМЗКГМ), выполняемых по ТУ 16.К87-001-00 и ЗАО «Севкабель» (марка - ДАС (DAC), выполняемых по ТУ 3587-007-05755714-98.

Основы действия волоконных световодов. Физические основы волоконных световодов

Металлический проводник не является абсолютно необходимым в качестве средства распространения электромагнитных волн. Они могут также распространяться с высокой скоростью в вакууме или диэлектрической среде, т.е. в среде не проводящей электрический ток.

Основой оптической связи также как и проводной и радиосвязи являются уравнения Максвелла. Максвеллу удалось объединить две ранее разрозненные области физики: световые и электрические явления, установив, что свет представляет собой электромагнитные

волны и оптические свойства среды связаны с ее электромагнитными свойствами.

В отличие от металлических проводников, обладающих электрической проводимостью и током проводимости $I_{ПР}$, оптические волокна имеют совершенно другой механизм передачи энергии, а именно токи смещения $I_{СМ}$, на основе которых действует также радиопередача. Отличие от радиопередачи состоит в том, что волна распространяется не в свободном пространстве, а концентрируется в самом объеме световода и передается по нему в заданном направлении.

В физике все виды материи разделяются либо на волны, либо на частицы. Обычно свет представляется в виде волн, а электроны - в виде частиц. Однако современные физические исследования показали, что четкой границы между частицами и волнами не существует. Поведение, как частицы, так и волны может быть и корпускулярным, и волновым.

В общем случае волна понимается как распространение состояния или его возбуждение в среде без физического переноса массы или вещества самой среды. В случае световой волны состояние – это электромагнитное поле, распространяющееся в свето пропускающем веществе – оптическом волокне.

ЧТО ТАКОЙ ФОТОН?

Частицы света называются ***фотонами***. Фотон представляет собой квант, илили пакет излучения, т.е. свет можно представить в виде потока быстро движщихся частиц (фотонов), которые излучаются отдельными порциями (квантами) и образуют луч света

Таким образом, в волоконной оптике теория распространения света является синтезом волновых и лучевых его свойств. Обычно в зависимости от смысла используют либо одно, либо другое понятие. Например, многие характеристики оптического волокна основаны на длине волны, и свет рассматривается как волна. Однако испускание света источником или его поглощение детектором лучше описывать теорией частиц. Таким образом свет ведет себя различным способом при различных обстоятельствах. Поэтому, чтобы описать принцип действия оптических волокон, необходимо использовать, в

зависимости от обстоятельств различные подходы (положения геометрической оптики, волновой оптики или квантовой оптики).

Свет представляет собой один из видов электромагнитной энергии. Носителем электромагнитной энергии является электромагнитное поле. Электромагнитное поле – это особый вид материи, оказывающей силовое воздействие на заряженные частицы и обладающей энергией, массой, скоростью, т.е. всеми свойствами материи. Поле отличается непрерывным распределением в пространстве (электромагнитные волны) и обнаруживает дискретность структур (фотоны). Электромагнитное поле представляет собой единство двух составляющих – электрического и магнитного полей. Электрическое поле ($\vec{E}$) характеризуется силовым взаимодействием, как с неподвижными, так и с движущимися зарядами. Магнитное поле ($\vec{H}$) характеризуется силовым взаимодействием лишь с движущимися зарядами. Электрические и магнитные поля связаны с определенными количествами электромагнитной энергии. В различных случаях может преобладать тот или иной вид энергии (электрической иди магнитной).

Свет может рассматриваться как волна, состоящая из электрического и магнитного полей, направленных перпендикулярно друг к другу, с разностью фаз между собой в 90^0. Нормальный свет имеет бесконечное число перпендикулярно колеблющихся плоскостей, распространяющихся в направлении перемещения света. Отражением и рефракцией свет может быть поляризован.

Световая волна является поперечной волной. Если электрическое и магнитное поля колеблются в плоскости, то в фиксированной точке пространства (z) конец вектора напряженности электрического или магнитного поля с течением времени перемещается вдоль отрезка прямой линии. Такую волну называют **линейно-поляризованной** (рис.2.17,а). Если вектор $\vec{E}$ ($\vec{H}$), оставаясь неизменным по величине, вращается с угловой частотой ω вокруг направления z_0, то конец вектора описывает окружность. Волны такого типа называются волнами с **круговой поляризацией** (рис.2.17,б). При произвольных значениях амплитудных и начальных фазовых составляющих вектора $\vec{E}$ в фиксированной точке пространства z конец этого вектора описывает эллипс. Волны такого типа называют волнами с **эллиптической поляризацией** (рис.2.17,в).

Электромагнитные волны, распространяющиеся в световоде, разделяют на классы и типы. В направляющих системах существуют

волны следующих **классов**: Т – поперечная электромагнитная волна; Е – электрическая волна; Н – магнитная волна; НЕ и ЕН – смешанные волны.

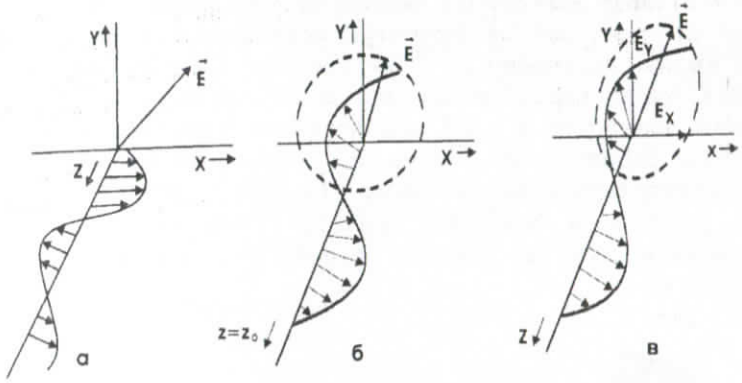


Рис.2.17.. Типы поляризаций:

а – линейная; б – круговая; в – эллиптическая

В световодах могут существовать два класса волн: симметричные E_{0m}, H_{0m}и несимметрчные дипольные EH_{nm}, HE_{nm}. Раздельное распространение по световоду несимметричных волн класса EH_{nm} и HE_{nm}невозможно. В световоде они существуют только совместно, т.е. имеются продольные составляющие Е и Н. Эти волны называются **гибридными, дипольными** и обозначаются через HE_{nm}, если поле в поперечном сечении напоминает поле Н, или EH_{nm}, если поле в поперечном сечение ближе к волнам Е.

Типы волн характеризуют сложность структуры электромагнитного поля волны и различаются числом максимумов и минимумов поля в поперечном сечение световода.

ЧТО ТАКОЕ МОДА ВОЛНЫ?

Разрешенные типы волн которые могут распространяться в оптическом волокне, называются *модами* (собственными волнами).

Мода обозначается двумя числовыми индексами n и m, где n – число полных изменений поля по окружности световода

(азимутальный индекс моды), с его помощью обозначают половину числа световых точек в каждом концентрическом световом кольце; m – число полных изменений поля по диаметру (радиальный индекс моды), он обозначает число концентрических световых колец моды.

По световоду передаются фиксированное число мод, которое зависит от соотношения диаметра сердцевины d световода и длины волны излучения λ. С увеличением диаметра сердцевины световода, число передаваемых мод резко возрастает. Волоконные световоды диаметром $d \geq 50$ мкм являются **многомодовыми**. Для обеспечения одномодового режима передачи необходимо иметь очень малый диаметр сердцевины световода – порядка 8…10 мкм.

На рис.2.18 в качестве примера показано распределение интенсивности света по сечению оптического волокна для первых десяти мод.

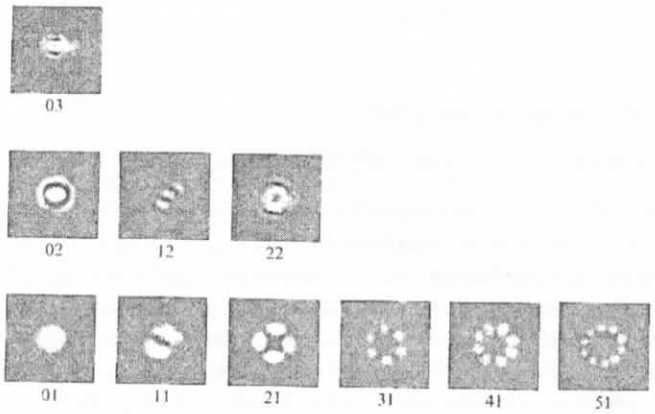


Рис 2.18. Моды HE_{nm} оптического световода

Основная мода обозначается через HE_{01}, следующая высшая мода HE_{11}.

В настоящее время принято одномодовую передачу осуществлять на гибридной волне HE_{11}, обладающей способностью передавать сигнал во всем оптическом диапазоне частот. У этой волны магнитные линии в горизонтальной плоскости имеют такую же структуру, как электрические в вертикальной плоскости.

Электромагнитный спектр

Свет как электромагнитную волну, можно представить как электромагнитное излучение. Электромагнитное излучение образует непрерывный частотный спектр, простирающийся от ультразвука к радиоволнам, микроволновому излучению, рентгеновским лучам и так далее. Свет представляет собой электромагнитное излучение с большой частотой и более короткой длиной волны по сравнению с радиоволнами.

Он распространяется в волне таким же образом, как и радиосигналы, рентгеновские лучи, Световое излучение занимает только маленькую часть электромагнитного спектра:

1. инфракрасный спектр – 10^{13} Гц;
2. видимый свет – 10^{14} Гц;
3. ультрафиолетовый свет - 10^{15} Гц;
4. рентгеновские лучи – 10^{18} Гц;

Видимый спектр находится в пределах диапазона волн 390…760 нм. Свет в общем использовании означает только видимый свет, но этот термин обычно расширяется и включает и ультрафиолетовое (коротковолновое), и инфракрасное (длинноволновое) излучение. Фактически термин свет охватывает весь спектр излучения, который может управляться подобным образом – линзами, призмами, решетками и т.д. Этот более широкий диапазон находится в пределах от 190 нм (ультрафиолетовый свет) до 2000 нм (инфракрасный свет).

В оптической связи на основе волоконных световодов используется приграничный с инфракрасным диапазон длин волн от 800 до 1650 нм.Высокие частоты света или малые длины волн представляют большой интерес с точки зрения телекоммуникационных технологий, так как более высокие частоты несущей волны означают большую скорость передачи информации, а технологии волоконной оптики позволяют использовать потенциальные возможности света.

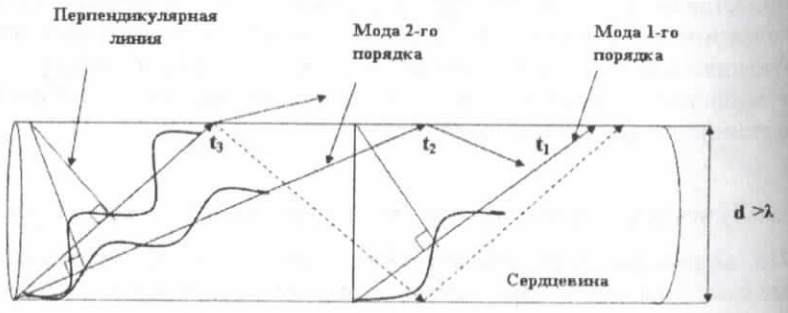
Лучевое распространение света в волоконных световодах

По корпускулярной теории свет – это поток быстродвижущихся мелких частиц (корпускул), которые излучаются отдельными порциями (квантами) и образуют луч света. Здесь пригодна лучевая теория распространения света.

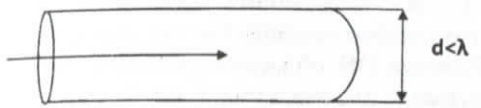
Геометрическая лучевая оптика предполагает, что свет состоит из лучей, распространяющихся от источника по прямым линиям в галогенной среде (стекле, воде, воздухе, вакууме). При этом в геометрической (лучевой) оптике принято утверждение, что плоские волновые фронты распространяются под прямыми углами к каждому лучу и интенсивность света уменьшается пропорционально квадрату расстояния.

В общем случае под скоростью света понимают скорость электромагнитной энергии в вакууме. В стекле свет распространяется с меньшей скоростью. При перемещении из одного материала в другой изменяется скорость распространения, что, с точки зрения волновой теории, приводит к изменению направления движения. Отклонение света от прямого направления называется **преломлением.** Волны с различными длинами в одном и том же материале распространяются с различными скоростями таким образом, теория света является синтезом волновых и лучевых его свойств. Одноволновая (одномодовая) передача соответствует одному лучу, а многоволновая (многомодовая) – большому количеству лучей.

При многомодовой передаче пути следования различных лучей различны (рис.2.19,а) и они приходят к концу линии в различные отрезки времени (t_1, t_2, t_3). В результате их суммирования на приеме импульс искажается, что ограничивает пропускную способность линии связи. При одномодовой передаче распространяется лишь один луч (рис.2.19,б) и поэтому форма сигнала практически сохраняется, что позволяет осуществлять широкополосную связь на большие расстояния.



а)



б)

Рис.2.19. Распространение света в волокне: а) многомодовом; б) одномодовом

2.6.Распространение света в оптическом волокне

2.6.1 Конструкция оптических волокон

Основным элементом оптического кабеля (ОК) является оптическое волокно (ОВ), которое предназначено для направленной передачи оптического излучения. **Оптическое волокно** состоит из сердцевины, одной или нескольких оболочек и одного или нескольких защитных покрытий (рис. 2.20.).

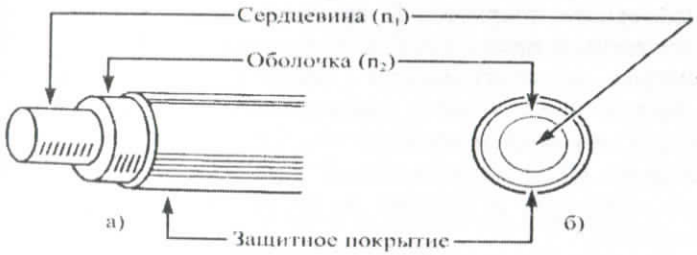


Рис. 2.20. Вид двухслойного ОВ в защитном покрытии

Сердцевина расположена в центральной части волокна и предназначена для направленного пропускания света (электромагнитной энергии).

Назначение оболочки – создание лучших условий отражения на границе сердцевина-оболочка, защита сердцевины волокна от механических повреждений, а также защита от излучения энергии в окружающее пространство и поглощение нежелательного излучения извне.

Диэлектрическим материалом для сердцевины и оболочки ОВ служит плавленый кварц (кварцевое стекло) – SiO_2 чистый или с примесями

химических элементов и их соединений, небольшие пропорции которых способствуют изменению оптических свойств плавленого кварца. Сердцевина и оболочка ОВ обладают разными оптическими характеристиками (показателями преломления n_1 и n_2).

Выбор материалов для изготовления ОВ определяется необходимостью удовлетворения одновременно следующих требований: способностью вытягиваться в нить, обладающую высокой прочностью и гибкостью; возможностью варьирования в широком интервале показателя преломления для создания различных типов оптических сред; низкими оптическими потерями на несущей частоте излучения и т.д. Наиболее удовлетворяют этим требованиям оксидные (видимая область и ближняя ИК-область спектра), халькогенидные и галогенидные (средняя и дальняя ИК-область спектра) стекла.

Для изготовления ОВ, используемых в диапазоне длин волн 0,8…1,8 мкм, применяются кварцевые стекла с легирующими добавками окиси германия GeO_2, фосфора P_2O_3, повышающими показатель преломления кварца, и добавками окиси бора B_2O_3, фтора F, понижающими его показатель преломления.

Значительное влияние на характеристики ОВ оказывает конструкция защитного полимерного покрытия. Покрытие должно обеспечивать сохранность собственной прочности ОВ, защищая его поверхность от влаги, химических и механических повреждений, фильтрации оболочечных мод и предотвращая возникновение дополнительных потерь на передачу, обусловленных макроизгибами.

Защитная оболочка ОВ из полимерных материалов в общем случае имеет сложную структуру и состоит из первичного, буферного и вторичного покрытий.

Первичное защитное покрытие (ПЗП) наносится на поверхность ОВ при его непосредственном изготовлении в едином технологическом процессе. ПЗП защищает ОВ от механических повреждений, влаги и других внешних факторов.

Для ПЗП в большинстве своем используются лаки. По способу отверждения они делятся на материалы теплового и ультрафиолетового (УФ) отверждения.

К первым из них можно отнести силиконовые компаунды, представляющие собой модифицированную двухкомпонентную силиконовую смолу, твердеющий при нагреве. Основным недостатком данных полимеров является водопроницаемость. Материалы ПЗП ультрафиолетового отверждения имеют лучшую однородность

покрытия, так как отверждение происходит практически мгновенно при низкой температуре. В качестве ПЗП ОВ могут использоваться неорганические диэлектрические материалы (алмазно-подобная форма углерода в виде пленки толщиной в несколько нанометров) и металлы (индий, олово, алюминий), наносимые на поверхность ОВ методами ионного осаждения в вакууме или протягиванием волокна через фильеру с расплавленным металлом. Однако ОВ с металлическими ПЗП имеют потери из-за наличия микроизгибов, вызванных жесткими свойствами материалов покрытия.

Материалы **буферного покрытия** ОВ должны играть роль демпфера, уменьшающего воздействие защитных оболочек на ОВ. Буферный слой заполняется мягким полимерным материалом, например, уретанакрилатными композициями. Акрилатное покрытие наносится двумя отдельными слоями: мягкий внутренний слой и жесткий внешний слой. Обеспечивая физическую защиту и значительную прочность, покрытие одновременно придает кабелю стойкость от поперечной силы, абразивного износа и коррозионной среды, например, влаги. Оно также уменьшает риск потерь от микроизгибов.

Материалы **вторичного защитного покрытия (ВЗП)** должны обеспечивать защиту ПЗП и буферного слоя от механических повреждений в процессе изготовления и прокладки кабеля. Обычно для этого используют эпоксиакрилаты, уретанакрилаты, фторполимеры, полипропилен, найлон-12, полиамид, капрон, полиэтилены, кремнийорганические резины и пр.

2.6.2. Полное внутреннее отражение

В оптическом волокне носителем передаваемой информации (электромагнитной волны) является лазерный луч.Для передачи оптического излучения по ОВ используется явление полного внутреннего отражения, вытекающее из закона преломления света Снеллиуса: отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β является величиной постоянной и также идентично отношению скоростей света c_1 в первой среде и c_2 во второй среде.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

где α –угол падения;β –угол угол преломления; C_1 – скорость света в среде 1, км/с; C_2 –скорость света в среде

2, км/с.

Из двух прозрачных сред оптически более плотной называется та, в которой скорость света меньше (рис. 2.21).

При переходе из вакуума (воздуха), в котором свет распространяется со скоростью c_0, в среду со скоростью света c, имеет силу соотношение:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_0}{c} = n.$$

Рис. 2.21 Распространение света в оптическом волокне

Отношение скорости света в вакууме c_0 к скорости света c в среде называется **показателем преломления n (фазовым показателем преломления)** соответствующей среды и является материальной постоянной данного вещества. Показатель преломления вакуума (воздуха) $n_0 = 1$. Для двух различных сред с показателями преломления n_1 и n_2 и со скоростями света в них c_1 и c_2 имеют силу равенства:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \quad \text{и} \quad c_2 = \frac{c_0}{n_2}.$$

Отсюда выводится другая форма закона преломления Снеллиуса:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Если луч света падает на поверхность раздела между оптически более плотной средой с показателем преломления n_1 и оптически менее плотной средой с показателем преломления n_2 со все увеличивающимся углом падения α, то при определенном угле

падения α_0 угол преломления становиться равным $\beta = 90°$. В этом случае луч света распространяется параллельно поверхности раздела двух сред. Угол падения α_0 называется **критическим (предельным) углом** двух сред (рис. 2.14).

Для критического угла α_0 имеет силу следующее соотношение:

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}, \qquad (2.4.)$$

т.е. критический угол зависит от соотношения показателей преломления n_1 и n_2 двух сред.

Критический угол между стеклом с $n_1 = 1{,}5$ и воздухом с $n_0 = 1$ равен

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{1{,}5} \approx 0{,}67 \quad \text{и} \quad \alpha_0 = 42°.$$

Для всех лучей, у которых угол падения α больше критического угла α_0, не существует соответствующих преломленных лучей в оптически менее плотной среде. Эти лучи света отражаются на поверхности раздела обратно в оптически более плотную среду. Такое явление называется **полным внутренним отражением**.

2.7. Параметры оптических волокон

Режим полного внутреннего отражения предопределяет условие подачи света на входной торец оптического волокна. Основной характеристикой оптического волокна, определяющей эффективность ввода в него оптического излучения источника, является числовая апертура.

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения (рис. 2.6).

Максимально возможный угол ввода лучей на торец световода θ_{max} называется **входной угловой апертурой** световода. Она зависит только от соотношения показателей преломления n_1 и n_2:

$$\sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \qquad (2.5.)$$

Синус входной угловой апертуры называется **числовой апертурой NA** световода.

На рис. 2.22показаны предельные случаи распространения малых длин волн ($\lambda \to 0$) (рис. 2.22,а) и волн, соизмеримых с диаметром световода ($\lambda \to d$) (рис. 2.22,б). В первом случае ($\lambda \to 0$ и $f \to \infty$) угол $\theta \to 90°$, т.е. отражений мало, волна стремится к прямолинейному движению вдоль световода и передача по световоду проходит в выгодных условиях. Во втором случае ($\lambda \to d$ и $f \to \frac{c}{d}$) угол $\theta \to 0°$, т.е. волна испытывает большое число отражений, поступательное движение ее весьма мало и вдоль световода передается незначительная доля энергии.

При определенной длине волны (рис. 2.22,в) наступает такой режим, когда $\theta = 0°$, т.е. волна падает на оболочку световода и отражается перпендикулярно. В световоде устанавливается режим стоячей волны, и энергия вдоль световода не распространяется. Это соответствует случаю критической длины волны $\lambda_0 \approx d$ и критической частоты $f_0 \approx c/\lambda_0 = c/d$. Поэтому по волоконному световоду возможна передача лишь волн длиной меньше диаметра световода ($\lambda_0 > d$).

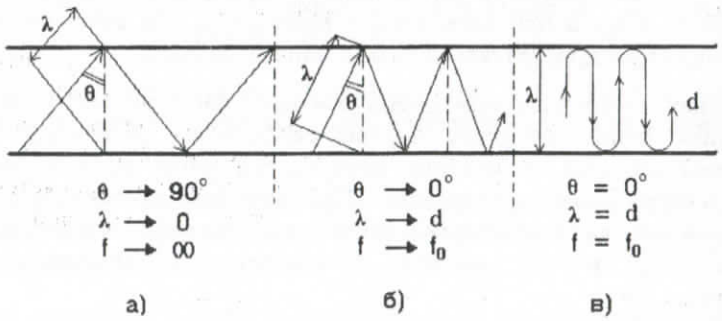


Рис.2.22 Распространение энергии в световоде:

а) короткие волны ($\lambda \to 0$); б) волны, соизмеримые с диаметром сердечника ($\lambda \to d$); в) критические волны

Лучевая теория света допускает распространение по световоду большого числа лучей – всех лучей, попадающих в апертурный конус световода. По волновой теории по световоду распространяется лишь ограниченное число волн с дискретными углами.

Математически эти моды могут быть описаны с помощью уравнения Максвелла. Эта общая система уравнений для электромагнитных волн может быть сильно упрощена при ее использовании для световых волн, которые лишь слабо направляются в оптическом волокне. Под

ними понимаются волны, которые распространяются почти точно в направлении оси световода и у которых напряженности полей вдоль оси ничтожно малы.. Они возникают тогда, когда показатели преломления n_1 стекла сердцевины и n_2 стекла оболочки отличаются друг от друга незначительно.

Мерой этой разницы показателей преломления является **нормированная (относительная) разность показателей преломления Δ**.

Относительная разность показателей преломления соотносится с числовой апертурой NA или показателями преломления n1 и n2 следующим образом:

$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_1} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \qquad (2.11.)$$

Если рассматривать показатель преломления n_1 волоконного световода как функцию радиуса r, то используется термин **профиль распределения показателя преломления (ППП)**. С его помощью описывается радиальное изменение показателя преломления от оси волокна в стекле сердцевины в направлении стекла оболочки:

$$n = n_1(r). \qquad (2.12.)$$

Различают следующие случаи (рис. 2.23):

1 – треугольный профиль;

2 – параболический профиль;

3 – ступенчатый профиль.

Лишь в последнем случае – при **ступенчатом профиле** – показатель преломления $n(r) = n_1$ в стекле сердцевины остается постоянным. Для всех других профилей показатель преломления n(r) в стекле сердцевины постепенно увеличивается от величины n_2 для стекла оболочки до величины n_1 у оси волоконного световода. Поэтому такие профили называются **градиентными профилями** распределения показателя преломления.

Число мод, распространяющихся в стекле сердцевины, зависит от формы ППП и от структурного параметра V.

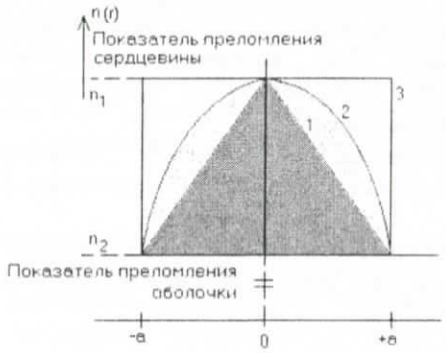


Рис. 2.23. Профиль показателя преломления волоконного световода.

Число мод при ступенчатом профиле показателя преломления равно:

$$N = \frac{V^2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\cdot\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)^2 \qquad (2.13.)$$

Для градиентного профиля показателя преломления число мод равно:

$$N \approx \frac{V^2}{4} = \frac{1}{4}\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\cdot\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)^2 \qquad (2.14.)$$

Если необходимо уменьшить число мод, то есть структурный параметр V, то следует уменьшить либо диаметр сердцевины 2a, либо числовую апертуру NA или увеличить длину волны света. Поскольку количество света, которое может быть введено в волоконный световод, сильно зависит от числовой апертуры, эта величина должна оставаться по возможности максимально большой. Уменьшение радиуса сердцевины a ограничено из-за возрастающих при этом трудностях изготовления и обслуживания волоконного световода и соединительных элементов. С другой стороны, изготовление передатчиков и приемников для диапазона более длинных волн становиться затруднительным. Поэтому длина волны не может быть произвольно увеличена.

Важным интегральным параметром одномодовых оптических волокон является **диаметр модового поля**.В многомодовых оптических волокнах размер сердцевины принято оценивать параметром (2a), а в

одномодовых волокнах с помощью диаметра модового поля ($d_{мп}$) – радиальной амплитуды поля. Это связано с тем, что энергия основной моды в одномодовом ОВ распространяется не только в сердцевине, но и частично в оболочке, охватывая ее приграничную область (рис. 2.24,а). Поэтому $d_{мп}$ более точно оценивает размеры поперечного распределения энергии основной моды. Величина $d_{мп}$ является важной при стыковке волокон между собой, а также при стыковке источника излучения с волокном.

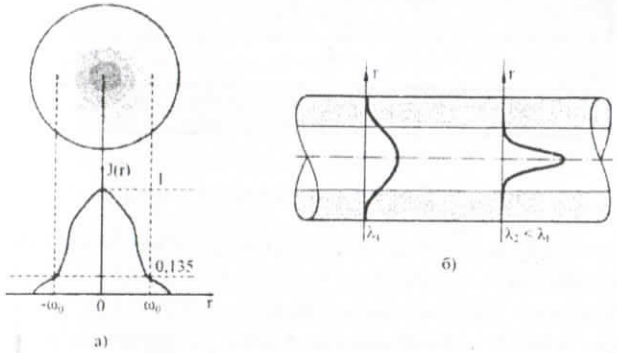


Рис. 2.24. Зависимость распределения интенсивности излучения основной моды:а) в ближней зоне от радиуса; б) на двух разных длинах волн

$$w_0 = \frac{2{,}6\cdot\lambda}{V_0\cdot\lambda_0}\cdot 2a \ , \ \text{мкм} \qquad (2.15.)$$

Диаметр поля моды зависит от длины волны: он увеличивается по мере увеличения длины волны (рис. 2.24,б). Радиус поля моды w_0, отнесенный к радиусу сердцевины a, является лишь функцией нормированной частоты:

$$w_0 = a\left(0{,}65 + 1{,}62V^{-3/2}\right) \ , \ \text{мкм} \qquad (2.16.)$$

Для диапазона $1{,}6 < V < 2{,}6$ существует простое приближенное выражение:

2.8. Типы волн в оптическом волокне

В общем случае в волоконном световоде могут существовать три типа волн: направляемые, излучаемые и вытекающие (рис. 2.25). Действие и преобладание какого-либо типа волн связано в первую очередь с

соотношением углов падения лучей света на торец световода и апертурой.

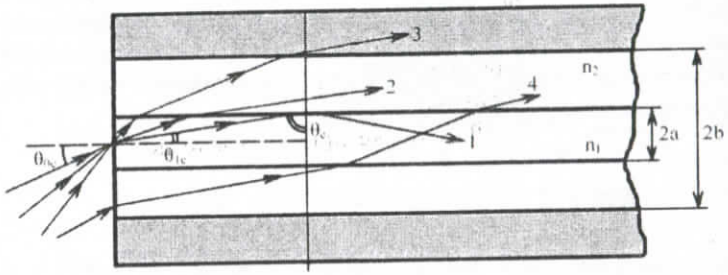


Рис. 2.25 Лучи в волоконном световоде

При вводе лучей света в торец световода в пределах апертурного угла, часть меридиональных и косых лучей (1), многократно отражаясь от границы сердцевина – оболочка, распространяются вдоль сердцевины и образуют **моды сердцевины** или **направляемые моды**. Направляемые моды – это основной тип волны, распространяющийся по световоду. Здесь вся энергия сосредоточена внутри сердцевины световода и обеспечивает передачу информации.

Остальные лучи, которые падают на эту границу под углом $\alpha < \alpha_0$, т.е. вне апертурного угла, не удерживаются в сердцевине и не участвуют в формировании волноводных мод, а уходят из сердцевины. Эти лучи, так же как все лучи, попадающие в волокно через торец оболочки (независимо от угла их падения на торец оболочки), формируют световой поток **мод излучения** (3). Некоторые из них (лучи 2 и 4) распространяются в оболочке за счет полного внутреннего отражения от границы оболочка – защитное покрытие и образуют **моды оболочки** или **вытекающие моды**.

Внешняя граница оболочки в силу технологических причин не обеспечивает отражения без потерь: она геометрически несовершенна и покрыта полимерным материалом (первичное покрытие) со значительным коэффициентом оптических потерь. Кроме того, у некоторых волокон, особенно кварц-полимерных, оптические потери в этой оболочке весьма велики. Поэтому энергия мод оболочки за счет процессов рассеяния и поглощения затухает на первых метрах оптической линии.Излучаемые моды затухают еще быстрее в

малопрозрачном материале внешнего вторичного покрытия волокна.Несмотря на это нельзя игнорировать существование данных мод, поскольку их взаимодействие с регулярными, т.е. направляемыми модами, может явиться серьезной причиной повышения затухания энергии оптического сигнала в процессе его распространения вдоль волокна.Излучаемые и вытекающие моды – это паразитные волны, искажающие вследствие интерференции передачу по световоду. За счет этих мод в первую очередь возникают переходные влияния и помехи в соседних световодах. Если защитное покрытие ОВ выполнено из сильнопоглощающего материала, то оно будет устранять взаимные помехи между оптическими волокнами в оптическом кабеле, которые обусловлены модами излучения.

Типы волоконных световодов. Ступенчатые световоды

Для того чтобы свет направлялся в стекле сердцевины волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления благодаря полному внутреннему отражению, необходимо иметь показатель преломления n_1 стекла сердцевины немного больше показателя преломления n_2 стекла оболочки на границе раздела двух стеклянных сред. Если показатель преломления n_1 одинаков по всему поперечному сечению сердцевины, то тогда говорят, что показатель преломления имеет ступенчатый профиль, так как при переходе от стекла оболочки к стеклу сердцевины показатель преломления возрастает ступенеобразно и остается там неизменным.

Такой волоконный волновод называется **световодом со ступенчатым профилем показателя преломления** или **ступенчатым световодом** (рис. 2.26.2.27). Этот тип волоконного световода легко изготовить. Однако в настоящее время он применяется довольно редко.

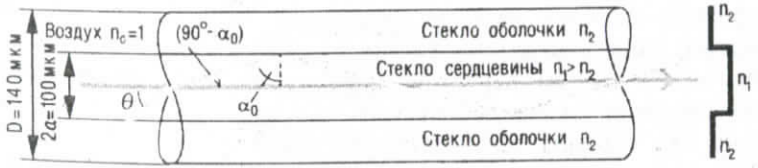


Рис. 2.26. Световод со ступенчатым профилем показателя преломления

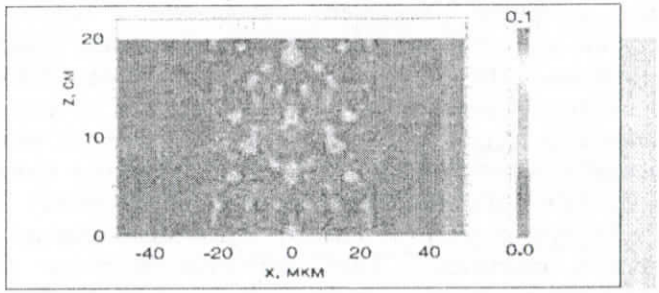


Рис.2.27. Распространение различных мод в многомодовом световоде с прямоугольным профилем показателя преломления

Ступенчатый волоконный световод является многомодовым. Импульс света, распространяющийся в нем, состоит из многих составляющих, направляемых в отдельных модах световода. Каждая из этих мод возбуждается на входе волновода под своим определенным углом ввода и направляется по нему в пределах стекла сердцевины соответственно по различным траекториям движения луча. Каждая мода проходит разное расстояние оптического пути и поэтому приходит на выход световода в разное время. Наибольшее время прохождения соотносится с наименьшем временем прохождения так же, как соотносятся показатели преломления стекла сердцевины и оболочки, и поэтому такое отношение имеет величину того же порядка, что и нормированная разность показателей преломления Δ, т.е. выше 1 %.

Если свет проходит через ступенчатый волоконный световод длиной 1 км примерно за 5 мкс, то время задержки (разность времени прохождения) примерно равно $\Delta t \approx 5$ мкс $\times 1\% = 50$ нс.

Искажения, обусловленные дисперсией времени задержки отдельных мод, называются **модовой дисперсией**. Она обуславливает тот факт, что короткий световой импульс уширяется (во времени) по мере прохождения по ступенчатому световоду. Это является недостатком для оптических систем передачи информации, так как уменьшает скорость передачи (скорость передачи битов) и полосу пропускания передачи. Это влияние смягчается благодаря тому, что отдельные моды при прохождении по световоду воздействуют друг на друга и обмениваются энергией. Такое **смешение мод**, или **связь мод,** проявляется особенно интенсивно в местах неоднородностей стекла

сердцевины, например на микроизгибах или на стыках волоконных световодов.

Модовая дисперсия может быть полностью исключена, если структурные параметры ступенчатого световода подобрать таким образом, что в нем будет направляться только одна мода, а именно – фундаментальная (основная) мода HE_{01}.Однако основная мода также уширяется во времени по мере ее прохождения по такому световоду. Это явление называется **хроматической дисперсией**. Поскольку оно является свойством материала, это как правило, имеет место в любом оптическом световоде. По сравнению с дисперсией мод, хроматическая дисперсия в диапазоне длин волн от 1200 до 1600 нм мала или отсутствует.Распределение света фундаментальной моды в одномодовом волоконном световоде играет важную роль в оценке потерь при вводе-выводе, на изгибах и в соединителях. Для описания этого распределения было дано определение термину **радиус поля моды w_0** или **диаметр поля моды $2w_0$**.

Радиус поля моды – это радиус, при котором радиальная амплитуда поля уменьшается до 1/e-кратной величины (≈37%, так как e = 2,71828) по отношению к своему максимальному значению на оси волоконного световода (r = 0). ***Диаметр поля моды*** зависит от длины волны: он увеличивается по мере увеличения длины волны.Увеличение диаметра поля моды приводит к ухудшению пропускания света в изгибах, но уменьшает потери в разъемных и неразъемных соединениях.

Для изготовления ступенчатого волоконного световода с малым затуханием, который направляет только фундаментальную моду в диапазоне длин волн более 1200 нм, диаметр поля моды $2w_0$ должен быть уменьшен примерно до 10 мкм. Такой ступенчатый волоконный световод называется **одномодовым оптическим волокном** (рис. 2.28, 2.29).

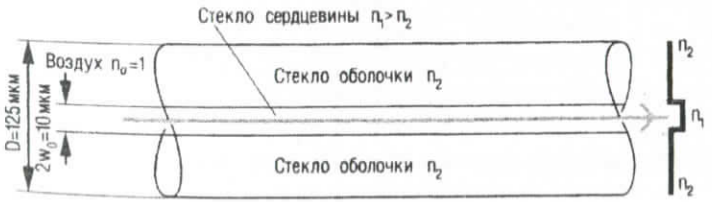
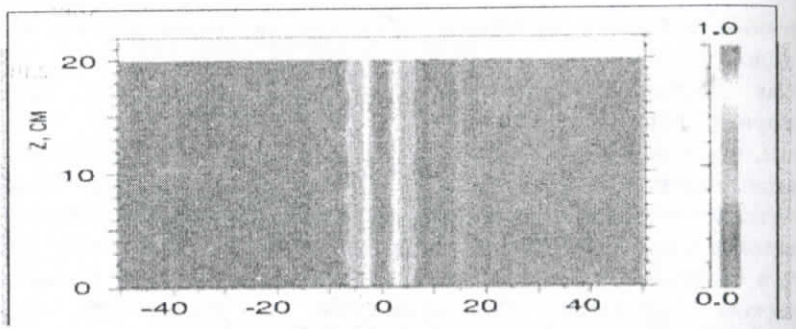


Рис. 2.28 Одномодовый волоконный световод



X, мкм

Рис.2.29. Распространение светового пучка в одномодовом световоде с прямоугольным профилем показателя преломления

Градиентные световоды

В многомодовом ступенчатом световоде моды распространяются по оптическим путям различной длины и поэтому приходят к концу световода в разное время. Эта нежелательная модовая дисперсия может быть значительно уменьшена, если показатель преломления стекла сердцевины уменьшается параболически от максимальной величины n_1 у оси световода до величины показателя преломления n_2 на поверхности раздела с оболочкой.

Оптический волновод с таким градиентным профилем показателя преломления также называется **градиентным волоконным свето водом** (рис. 2.30а, 2.306).

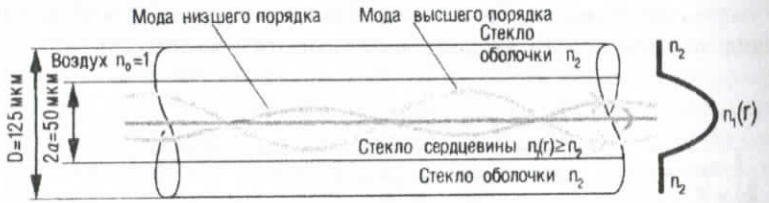
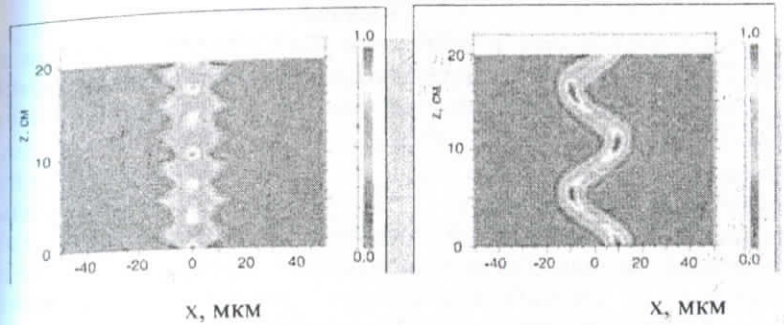


Рис. 2.30. Оптическое волокно с градиентным профилем показателя преломления



X, мкм X, мкм

Рис 2.31. Распространение различных мод в многомодовом световоде с градиентным профилем показателя преломления

Лучи света проходят по оптическому волокну по волно- или винтообразным спиральным траекториям. В противоположность ступенчатому профилю показателя преломления, они распространяются уже не зигзагообразно. Вследствие непрерывного изменения показателя преломления n(r) в стекле сердцевины лучи непрерывно преломляются, и поэтому их направление распространения меняется, за счет чего они распространяются по волновым траекториям. Лучи, колеблющиеся вокруг оси световода, проходят более длинный путь, чем лучи света вдоль оси световода. Однако благодаря меньшему показателю преломления в отдалении от оси оптического волокна эти лучи распространяются соответственно быстрее, благодаря чему более длинные оптические пути компенсируются меньшим временем прохождения. В результате различие временных задержек разных лучей почти полностью исчезает. При точном изготовлении параболического профиля показателя преломления разность временных задержек по результатам измерений в градиентном световоде составляет немногим более 0,1 нс при времени прохождения света 5 мкс на расстояние 1 км.Эта незначительная разница временных задержек в градиентных световодах обуславливается, наряду с дисперсией материала, **дисперсией профиля**. Она возникает вследствие того, что показатели преломления сердцевины и оболочки изменяются по мере изменения длины волны λ по-разному, поэтому разность показателей преломления Δ и показателя степени профиля g зависят от длины волны.

Выводы

Приведены достоинства и недостатки оптических линий связи и сравнение различных направляющих средств. Описываются физические основы волоконных световодов. Свет рассматривается – как электромагнитная волна средством переноса информации, приводятся классы и типы волн, их электромагнитный спектр. Ступенчатые одномодовые и многомодовые световоды .Градиентные световоды.Виды дисперсий в световодах.Структура оптического волокна.Полное внутреннее отражение.Показатель преломления среды.Относительная разность показателей преломления.Критический угол и числовая апертура.Критическая длина волны и критическая частота.Типы волн в оптическом волокне.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Достоинства и недостатки оптических линий связи.
2. Сравнение различных направляющих средств.
3. Физические основы волоконных световодов
4. Свет – как электромагнитная волна
5. Классы и типы волн
6. Электромагнитный спектр
7. Ступенчатые одномодовые и многомодовые световоды.
8. Градиентные световоды.
9. Виды дисперсий в световодах.
10. Структура оптического волокна.
11. Полное внутреннее отражение.
12. Показатель преломления среды.
13. Относительная разность показателей преломления.
14. Критический угол и числовая апертура.
15. Критическая длина волны и критическая частота.
16. Типы волн в оптическом волокне.

3.КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ СВЯЗИ.

3.1.Оптоэлектронные компоненты волоконно-оптической сети связи

Новейшие электронные компоненты систем оптической связи состоят из:

1. Неразъемных соединений ОВ
2. Разъемных соединителей оптических линий передачи
3. Оптических кроссов
4. Оптических разветвителей, мультиплексоров,демультиплексоров
5. Оптических модуляторов, коммутаторов, изоляторов.

В последние годы наряду с когерентными системами связи развивается альтернативное направление: солитоновые системы связи.

ЧТО ТАКОЕ СОЛИТОН!!!

Солитон - это световой импульс с необычными свойствами: он сохраняет свою форму и теоретически может распространяться по "идеальному" световоду бесконечно далеко. Солитоны являются идеальными световыми импульсами для связи. Длительность солитона составляет примерно 10 триллионных долей секунды (10 пс).

Солитоновые системы, в которых отдельный бит информации кодируется наличием или отсутствием солитона, могут иметь пропускную способность не менее 5 Гбит/с на расстоянии 10 000 км.

Такую систему связи предполагается использовать на уже построенной трансатлантической линии ТАТ-8. Для этого придется поднять подводный ВОК, демонтировать все регенераторы и срастить все волокна напрямую. В результате на подводной магистрали не будет ни одного промежуточного регенератора.

Перспективными волноводами можно считать также и созданные совсем недавно дырчатые волноводы, т.е. волноводы с оболочкой, представляющей собой двумерный набор плотно упакованных и вытянутых при высокой температуре полых

стеклянных волокон. Их можно считать одним из наиболее значительных достижений оптических технологий за последние пять лет. Замечательные свойства этих волноводов детально изучаются, область их практических приложений неуклонно расширяется, стремительно растет число научных групп, использующих дырчатые волноводы в своих исследованиях, в частности для абонентских сетей.

Применение кабелей ОКМС

Магистральный самонесущий, диэлектрический, для подвески на опорах контактной сети и линий автоблокировки железных дорог, на опорах линий электропередачи (ЛЭП) до 500 кВ, воздушных линиях связи и эксплуатации при температуре окружающей среды от минус 60°С до плюс 70°С;

Центральный силовой элемент (ЦСЭ) представляет собой стеклопластиковый стержень.

Оптический модуль: пластмассовые трубки с четырьмя окрашенными одномодовыми оптическими волокнами, заполненными гидрофобным компаундом. Заполняющие модули: полиэтиленовые стержни.

Сердечник: оптические модули и кордели - заполнители скручены вокруг ЦСЭ; пустоты сердечника заполнены гидрофобным компаундом.

Защита от влаги: бандажная лента, наложенная продольно на сердечник кабеля. Внутренняя оболочка полиэтиленовая.

Броня: повив из арамидных упрочняющих нитей.

Защитная оболочка: светостабилизированный полиэтилен.

Для проектирования ВОЛС можно использовать кабель марки ОКМС - А - 4/2(2,4)Сп - 16(5) - «8 кН».

Характеристика кабеля ОКМС - А - 4/2(2,4)Сп - 16(5) - «8 кН»:

- оптический кабель магистральный, самонесущий, диэлектрический;
- внешняя оболочка из трекингостойкого не распространяющего горение полиэтилена;
- защитные покровы из арамидных нитей;
- внутренняя оболочка из полиэтилена;

- количество оптических модулей - 4, количество заполняющих модулей – 2;
- номинальный внешний диаметр оптических и заполняющих модулей - 2,4 мм;
- центральный силовой элемент - стеклопластиковый пруток;
- 16 одномодовых оптических волокон с ненулевой смещённой дисперсией NZDSF, соответствующих рекомендации ITU-T G.655;
- допустимое растягивающее усилие до 8 кН;
- строительная длина кабеля – 6км.

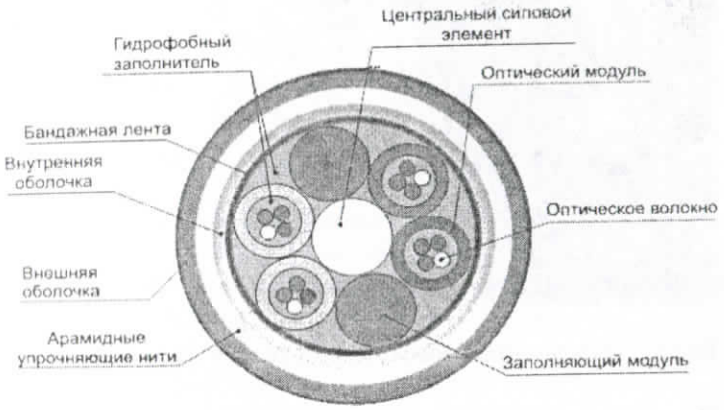


Рис.3.1. Схема кабеля ОКМС

Современное состояние производства волоконно-оптических системсвязи. С 80-х годов волоконно-оптические системы связи развивались интенсивно. Последние 10 лет активно как начали широко применятся для передачи информации. За последнее время решено много проблем, касающихся этого вида связи. По последним данным волоконно-оптический кабель стал очень востребован и эффективен для передачи информации. В ближайшие десять лет волоконно-оптический кабель сменит дорогие кабели из цветного металла.

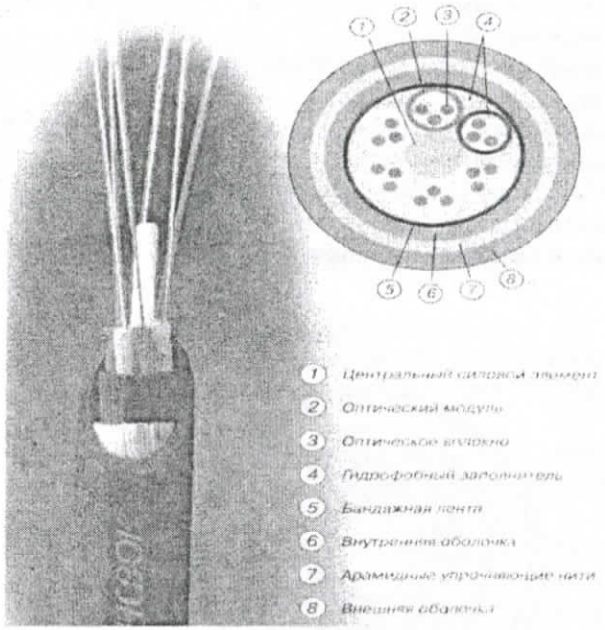


Рис.3.2 Перспективы волоконно-оптического кабеля

В ходе изучения различных аспектов технической эксплуатации телекоммуникационных систем возникает необходимость поиска новых подходов для решения проблем, которые могут появляться в процессе таких систем функционирования. Пути решения этих проблем находят свое отображение в документах международных организаций по стандартизации. Так, была определена необходимость ввода нормативов на повреждение кабеля огнестрельным оружием, а также повреждение оболочек кабеля термитами.

Вероятно, весьма скоро значительную долю в производстве подвесных кабелей будут составлять кабели ленточной конструкции, содержащие большое количество волокон.

В качестве передающего оптического модуля, выберем лазерный диод серии ML920J11S01, фирмы Mitsubishi. Это высококачественные, одночастотные (DFB - Distributed Feedback, на рус. РОС – с распределённой обратной связью) лазерные диоды,

изготовленные на основе квантоворазмерных гетероструктур с интегрированной Брэговской решеткой. Они являются оптимальными источниками излучения для магистральных цифровых волоконно-оптических систем передачи информации, гибких оптических мультиплексоров, SDH-оборудования уровня STM-1/STM-4.

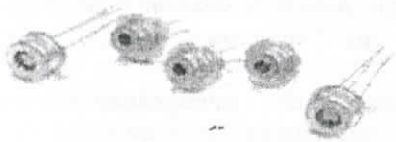


Рис.3.3.Лазерный диодML920J11S01 фирмы Mitsubishi

3.2.Классификация оптических кабелей связи

В отличие от электрических кабелей оптические кабели по назначению достаточно классифицировать на три основные группы:
- внутриобъектовые;
- линейные – наружной прокладки;
- специальные.

Нет необходимости классифицировать линейные ОК на магистральные, зоновые, городские и сельские, т.е. по принципу их принадлежности к магистральным, зоновым или местным сетям связи. Современные одномодовые оптические волокна, выполняющие в ОК роль среды передачи, имеют малое затухание, слабую его частотную зависимость и не являются ограничивающим фактором применения линейных ОК на сетях связи (магистральной, зоновых или местных).

Определяющим фактором применения линейных ОК на сетях связи являются условия их прокладки и эксплуатации. Условия прокладки и эксплуатации ОК в одной и той же среде далеко не одинаковы, поэтому целесообразно классифицировать ОК и по вариантам их применения.

Классификация оптических кабелей по назначению, условиям и вариантам применения представлены на рис. 3.2

Кабели внутренней прокладки

Волоконно-оптические **кабели внутренней или внутриобъектовой прокладки (indoorcables)** отличаются от кабелей внешней прокладки по двум основным параметрам:

1.Меньшим внешним диаметром и массой, в сочетании с более высокой гибкостью за счет отсутствия гидрофобного заполнителя и применения облегченных упрочняющих покрытий броневых покровов.

2.Лучшими характеристиками по пожарной безопасности.

Существуют три основных типа кабелей внутренней прокладки:

- **многоволоконный распределительный (distribution)** кабель для монтажа внутри зданий;
- **пэтч-кордовый (patch-cord)** кабель или мини-кабель с одним или двумя оптическими волокнами, армированные оптическими соединителями на обоих концах;
- **композитивные многоволоконные (breakout или fan-out)** – многоволоконные кабели для оконечной разводки.

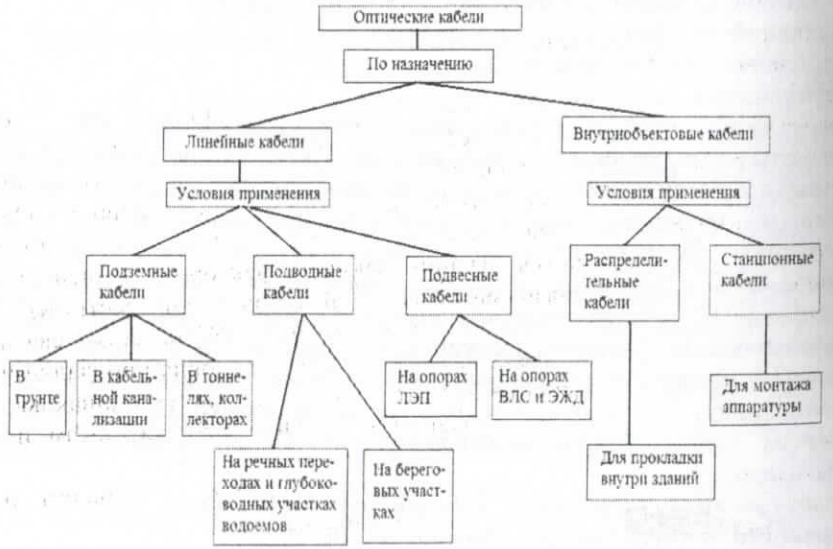


Рис. 3.4. Классификация оптических кабелей.

Пэтч-кордовый волоконно-оптический кабель или мини-кабель имеет три основных типа конструкции – **одноволоконную (simplex), двух-волоконную без оболочки (zip-cord)** и **двухволоконную в оболочке (duplex)**. Основным назначением мини-кабеля является изготовление оптических шнуров (рис. 3.5).

Оптические шнуры patch-cord применяются для стыка оптического оконечного оборудования с аппаратурой оптических систем передачи, для коммутации оптических волокон, а также для измерительных целей.Оптические шнуры, армированные оптическим соединителем на одном конце – пигтейлы (pig-tail) применяются преимущественно для концевой заделки ОВ линейных ОК.

В зависимости от условий прокладки все вышеперечисленные кабели можно разделить на:

кабели скрытой проводки (plenum), используемые приорганизации горизонтальных участков кабельных систем;

кабели вертикальной прокладки (risen)–для прокладки кабеля в вертикальной кабельной канализации внутри шахтных стволов.

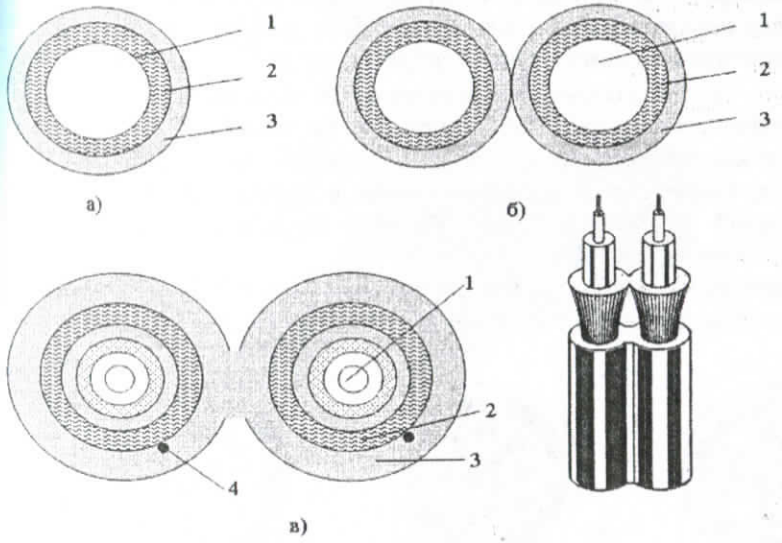


Рис. 3.5. Оптические шнуры:

а) одноволоконные; б) двухволоконные без оболочки;
в) двухволоконные в оболочке;
1-оптическоволокно в плотном буфере (0,9 мм);2-армирующие арамидные волокна; 3-наружный покров; 4-шнур для вспарывания оболочки

Подавляющее большинство внутриобъектовых кабелей имеют многомодовые световоды. Одномодовые внутриобъектовые кабели применяют в ограниченном объеме.

Линейные кабели

Линейные кабели (outdoorcables) или кабели наружной прокладки позволяют создавать сети во всех средах: на суше, в воде и воздухе. С учетом этого линейные ОК по условиям прокладки можно классифицировать на три группы:

- ***подземные (buried);***
- ***подводные (undersea, underwater);***
- ***подвесные (aerial).***

Кабели подземной прокладки в свою очередь делятся на:

- кабели, прокладываемые непосредственно в грунт при помощи кабелеукладчика или в открытую траншею;
- кабели, прокладываемые традиционными методами, в каналах кабельной канализации, коллекторах или тоннелях;
- кабели автоматической прокладки в специальных пластмассовых трубах, находящихся непосредственно в грунте или в каналах кабельной канализации, при помощи воздушной струи или традиционным способом.
- микрокабельные системы для прокладки в дорожном покрытии, в ливневой или сточной городской канализации (рис. 3.6.).

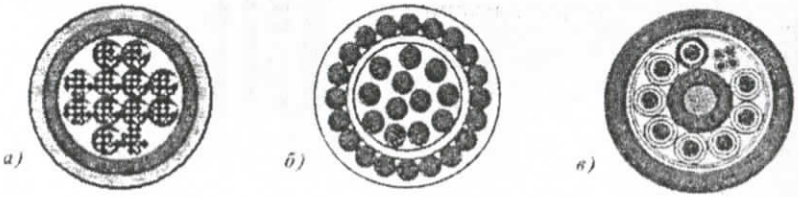


Рис. 3.6. Микрокабели:

а) для прокладки в дорожном покрытии; б) для прокладки в трубах канализации; в) для прокладки в трубах канализации роботом

Подводные кабели делятся в свою очередь на:

- кабели, укладываемых на дно судоходных рек, морей и океанов (что может означать, не только укладку на дно, но и закрепление на определенной глубине, или закапывание в донный грунт на определенную глубину);
- кабели, укладываемые на дно несудоходных рек, неглубоких озер и болот (используются при прохождении водных преград небольшой длины).

ОК для подводных линий связи, как правило, состоят из оптического сердечника, токоведущих жил и внешних защитных покровов (рис. 3.7.). В трубчатом сердечники располагаются оптические волокна (от 4 до 12 штук), которые должны соответствовать рекомендации G 655 ITU-T. Токоведущие жилы необходимы для обеспечения питания постоянным током подводных усилителей. Кабели для безретрасляционных оптоволоконных линий имеют такую же структуру но в них отсутствует токоведущая жила.

Существует несколько видов конструктивной защиты подводного кабеля от внешних воздействий, в соответствии с этим промышленностью выпускаются подводные кабели семи различных типов.

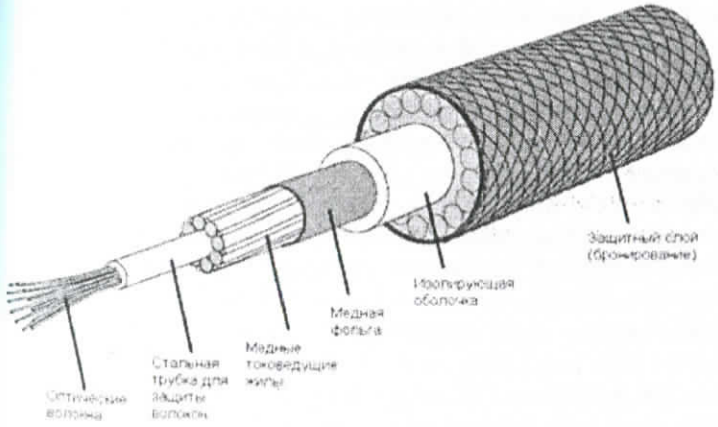


Рис. 3.7. Пример подводного оптоволоконного кабеля

1. **LW – глубоководный кабель** для прокладки на глубине до 8 км с защитой от значительного гидростатического давления. Уменьшить влияние гидростатического давления на ОВ можно за счет использования в конструкции кабеля полой трубки из меди или алюминия, или путем применения скрутки стальными проволоками, которые образуют прочную конструкцию. Оптимальное число проволок - 12.

2. **SPA – кабель специального применения** на глубине до 5 км (скальный грунт, опасность атаки акул). Под полиэтиленовой оболочкой ОК дополнительно покрыт стальной лентой, внешний диаметр составляет 31,8 мм (в 1,5 раза больше диаметра глубоководного кабеля).

3. **LWA – кабель для средних глубин** до 2 км (скальный грунт и риск траловых повреждений). Поверх глубоководного кабеля находится полиэтиленовая подушка под броню из 24 гальванизированных стальных проволок диаметром 3,4 мм каждая и два нейлоновых защитных слоя. Общий диаметр кабеля 38,8 мм.

4. **SA – кабель для глубин до 1500 м**(скальный грунт и опасность повреждения тралом) аналогичен кабелю для средних глубин. Отличается диаметром гальванизированных 20 проволок, который составляет 4,19 мм. Общий диаметр кабеля 38,4 мм (меньше за счет внешних слоев нейлона).

5. **DA – кабель для малых глубин** до 400 м (зона шельфа, вулканические скалы, высокая опасность повреждения тралом и якорями) имеет двойную броню. В основном аналогичен кабелю для средних глубин. Отличается тем, что под броню второго слоя добавлена полиэтиленовая подушка, накладываются 27 гальванизированных проволок диаметром 4,19 мм каждая и два соя нейлоновой изоляции. Общий диаметр кабеля – 48,9 мм.

6. **RA – кабель для мелководья** также содержит два слоя круглопроволочной брони и создан на основе третьего типа ОК, но второй слой брони содержит 9 проволок диаметром 9,7 мм и два слоя нейлоновой изоляции. Общий диаметр кабеля – 51,3 мм.

7. **RA (RockArmor – для прокладки в скалах) – кабель для мелководья** также содержит два слоя круглопроволочной брони и создан на основе третьего типа ОК, но второй слой брони содержит 9 проволок диаметром 9,7 мм и два слоя нейлоновой изоляции. Общий диаметр кабеля – 51,3 мм.

На рис. 3.8. представлен поперечный разрез кабелей в различных видах защиты, а на рис. 20.6 пример бронированного облегченного и дважды бронированного кабелей, в которых в качестве внешней защиты используется повив из нитей полипропиленовой пряжи. С целью унификации конструкция глубоководного ОК принята за базовую. При наложении брони и прочих элементов она последовательно превращается в ОК для прокладки на мелководных местах, ОК для прибрежной прокладки, ОК для прокладки в земле.

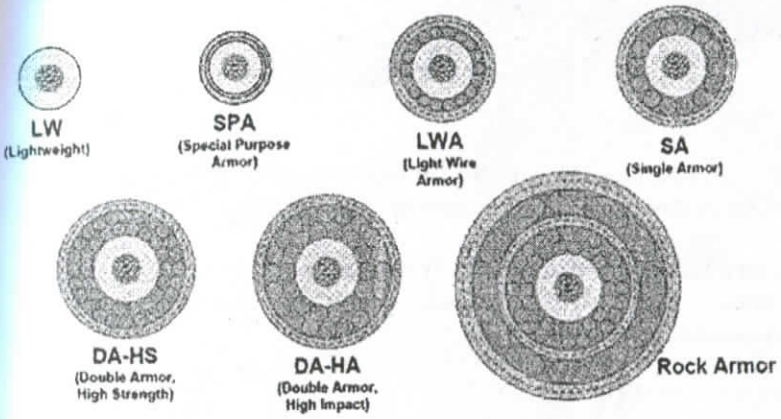


Рис. 3.8. Поперечный разрез подводных оптических кабелей различных видов защиты

Подвесные оптические кабели в сравнении с традиционным способом прокладки кабеля в грунт имеют очевидные достоинства:
- отсутствие необходимости отвода земли под трассу кабеля;
- уменьшение сроков строительства;
- снижение капитальных и эксплуатационных затрат на 30-50%, особенно в районах с тяжелыми грунтами

Подвесные оптические кабели подвешиваются на опорах различного типа:на стоечных линиях радиофикации;на опорах воздушных линий связи;на опорах городской осветительной сети, трамвайной и троллейбусной линий, на контактной сети железной дороги;на опорах высоковольтных линий электропередачи. В настоящее время в мире применяют 7 способов подвески ОК на опорах

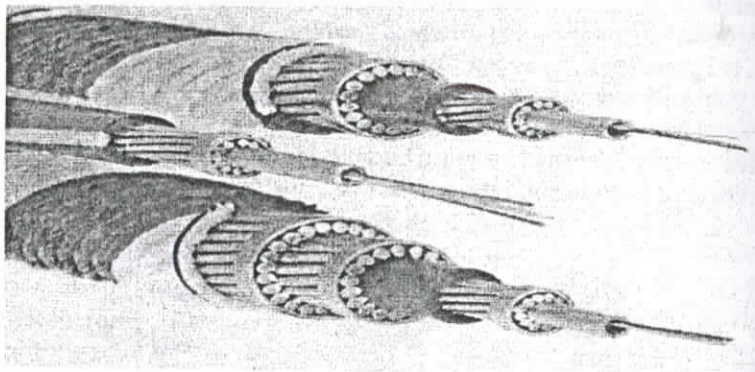


Рис. 3.9. Бронированный (SA), облегченный (LW) и дважды бронированный (DA) подводные оптические кабели

.1.**AllDielectricSell-Supporting (ADSS) – полностью диэлектрические самонесущие** с несущим тросом или без него, подвешиваемые на опорах различного типа (рис 3.9.).

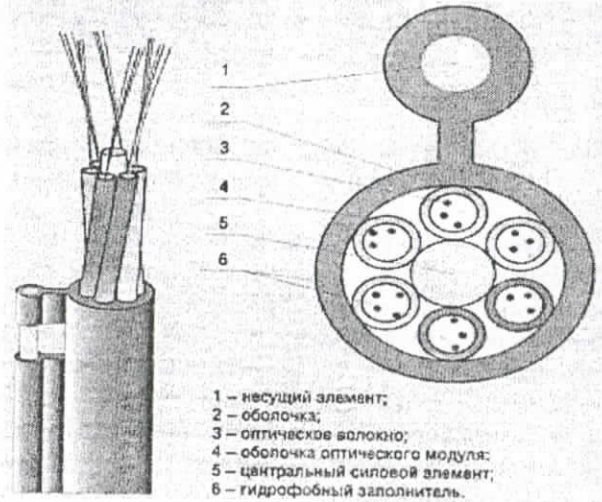


Рис. 3.10. Полностью диэлектрический типа «8» со стеклопластиковым прутком в качестве несущего элемента

2.MetalArmouredSelf-Supporting (MASS) – самонесущие армированные металлом с несущим тросом или без него, подвешиваемые на опорах различного типа (3.11.).

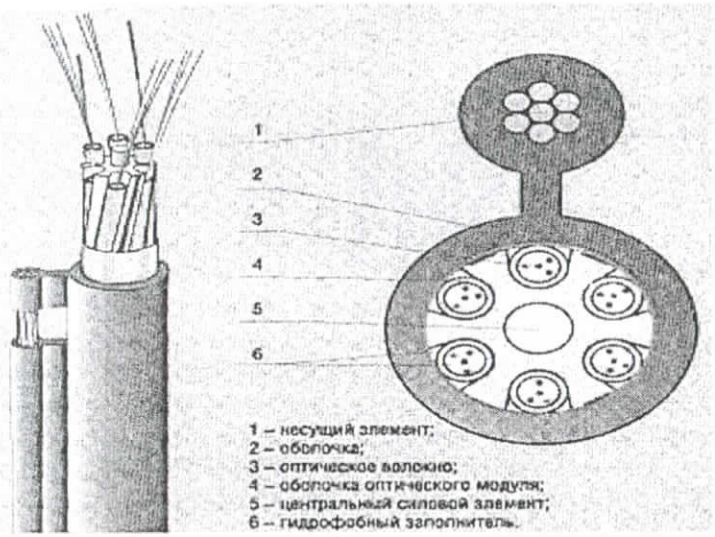


Рис. 3.11. Самонесущий типа «8» со стальным тросом в качестве несущего элемента

3. **All-DielectricLashed (ADL) – полностью диэлектрические прикрепляемые**, которые крепятся к несущему проводу с помощью диэлектрических шнуров или ленты, или же с помощью специальных зажимов, или спиралевидных отрезков металлической проволоки.

4. **OpticalPhaseConductor (OPPC)** – оптический кабель, **встроенный в фазные провода ЛЭП**, напряжением не выше 115 кВ.

5. **WrappedAllDielectricCables – навиваемые, полностью диэлектрические** кабели – навиваются вокруг несущего провода, например, фазового или провода заземления (грозотроса). Используется на ЛЭП напряжением 35 - 220 кВ (рис 20.9)

6. **PrepartAttached – неметаллические ВОК, прикрепляемые** к грозозащитным тросам. Используется для ВОЛС на ЛЭП напряжением 110 – 220 кВ.

7. **OpticalGroundWire (OPGW)** – оптический кабель **встроенный в грозотрос**. Используется для магистральных ВОЛС на ЛЭП напряжением от 220 кВ до 400 кВ (рис. 3.12. и 3.13.).

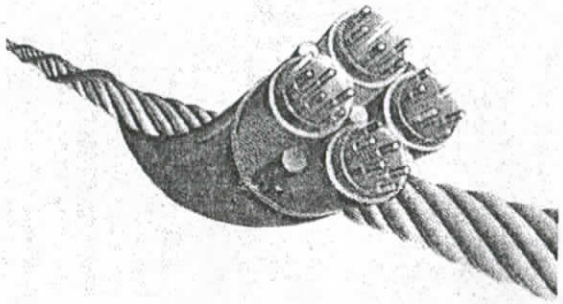


Рис. 3.12. Оптический кабель навиваемый полностью диэлектрический

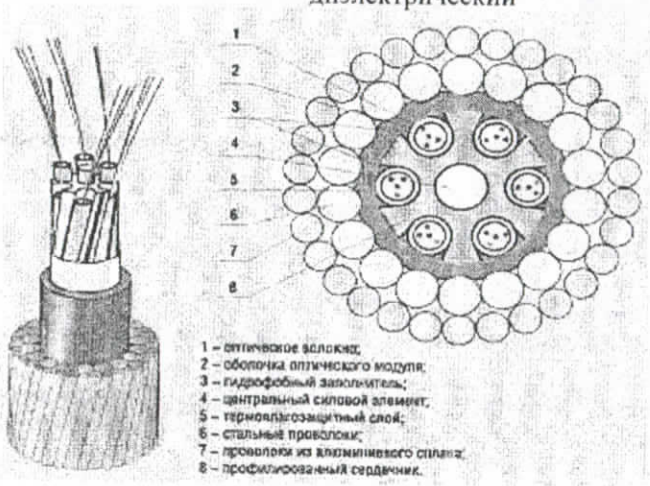


Рис. 3.13. Оптический кабель, вмонтированный в канат грозозащиты с профилированным сердечником

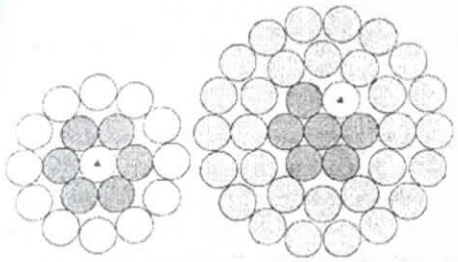


Рис. 3.14. Оптические кабели типа OPGW с одним оптическим модулем, расположенным в центре и во внутреннем повиве проволок троса

Специальные кабели

К специальным кабеля относят следующие:
одноволоконные полностью диэлектрические кабели в тонкой специальной оболочке для использования в сети внутренней коммутации различных спецустройств и приборов;
многоволоконные плоские полностью диэлектрические кабели, используемые для внутренних шин и компьютерных сетей суперкомпьютеров;
многоволоконные объемные (матричные) полностью диэлектрические кабели, используемые для прямой (несканируемой) передачи плоских графических изображений объектов (например, для передачи видеоизображений). Содержат тысячи или десятки тысяч волокон.

Волоконно-оптические кабели

Волоконно-оптические кабели состоят из центрального проводника света (сердцевины) - стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла - оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления;
- многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления;
- одномодовое волокно.

ЧТО ТАКОЕ МОДА???

Понятие «**МОДА**» описывает режим распространения световых лучей во внутреннем сердечнике кабеля. ***В одномодовом кабеле (Single Mode Fiber, SMF)*** **используется центральный проводник** очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света - от 5 до 10 мкм.

При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания одномодового кабеля очень широкая - до сотен гигагерц на километр. Изготовление тонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

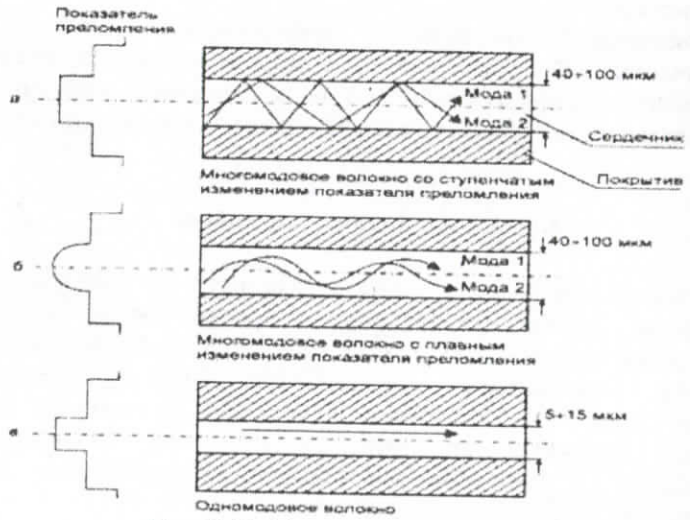


Рис. 3.15. Типы оптического кабеля

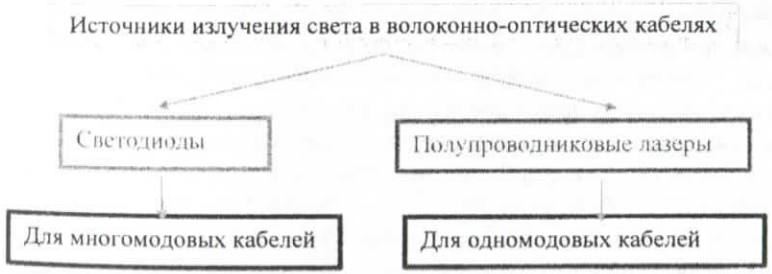
В ***многомодовых кабелях (Multi Mode Fiber, MMF)*** используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически. В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых кабеля: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм или 50 мкм - это диаметр центрального проводника, а 125 мкм - диаметр внешнего проводника.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим распространения каждой моды имеет более сложный характер.

Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания - от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции лучей разных мод.

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды;
- полупроводниковые лазеры.



Для одномодовых кабелей применяются только полупроводниковые лазеры, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно. Для многомодовых кабелей используются более дешевые светодиодные излучатели. Для передачи информации применяется свет с длиной

волны 1550 нм (1,55 мкм), 1300 нм (1,3 мкм) и 850 нм (0,85 мкм). Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 нм и 1300 нм. Излучатели с длиной волны 850 нм существенно дешевле, чем излучатели с длиной волны 1300 нм, но полоса пропускания кабеля для волн 850 нм уже, например 200 МГц/км вместо 500 МГц/км.

Лазерные излучатели работают на длинах волн 1300 и 1550 нм. Быстродействие современных лазеров позволяет модулировать световой поток с частотами 10 ГГц и выше. Лазерные излучатели создают когерентный поток света, за счет чего потери в оптических волокнах становятся меньше, чем при использовании некогерентного потока светодиодов.

Использование только нескольких длин волн для передачи информации в оптических волокнах связанно с особенностью их амплитудно-частотной характеристики. Именно для этих дискретных длин волн наблюдаются ярко выраженные максимумы передачи мощности сигнала, а для других волн затухание в волокнах существенно выше. Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами MIC, ST и SC. Волоконно-оптические кабели обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток - сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.

Сама стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволокном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается для витой пары. Выполнение же некачественных соединений сразу резко сужает полосу пропускания волоконно-оптических кабелей и линий.

3.3.Построение разъёмных оптических соединителей

На рис. 3.16. показан штекерный разъёмный соединитель. В этом соединителе штыревая и гнездовая части фиксируются гайкой с

накаткой. На рисунке резьба на поверхности гнездовой части соединителя и гайка непоказаны

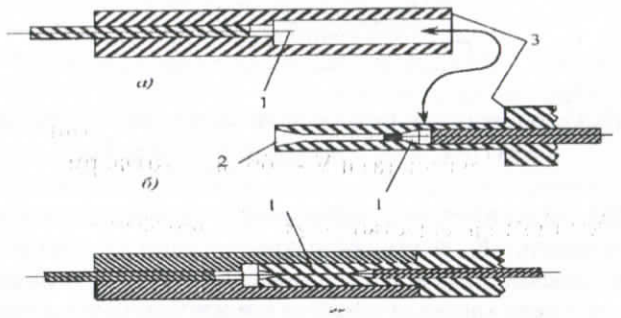


Рис.3.16. Штекерное соединение:
а - гнездо; б-штир; в-разъемныйсоединитель; *1* - волокно; *2* - канал; *3* - сопрягаемые поверхности.

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.

3.4.Неразъёмное соединение оптических волокон

Одним из распространенных способов неразъемного соединения ОВ является соединение с помощью трубки (рис. 3.15). При таком соединении вносимое затухание составляет 0,29 дБ.При неразъемном соединении с помощью пластин с канавками (рис.3.15) вносимое затухание составляет 0,5 дБ.Концы сращиваемых волокон точно центрируются, потом склеиваются или соединяются с помощью электродуговой сварки.

Для постоянного соединения ОВ широко применяется сварное соединение. В настоящее время сварочные оборудование и практика сварки совершенствуются. В результате, при применении сварного соединения вносимые потери составляют 0,04-0,1 дБ как для ОМ ОВ, так и для ММ ОВ.

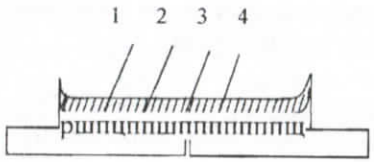


Рис. 3.17. Соединение волокон с помощью пластин с канавками круглой (а) и V - образной (б) форм

В ММ ОВ на качество сварки влияют факторы, зависящие от самого волокна. К этим факторам относятся несовпадение диаметров волокон, несовпадение числовых апертур, несовпадение показателей преломления и ошибки концентричности сердцевины и оболочки.

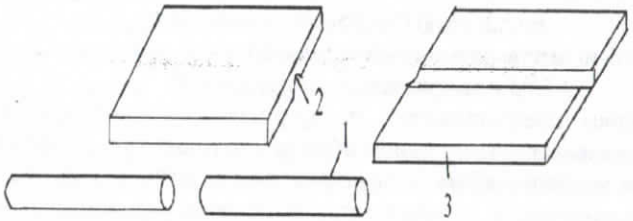


Рис. 3.18. Соединение волокон с помощью трубки: *1* - втулка; *2*- отверстие для заливки склеивающего компаунда; *3, 4* - волокна

В случае ОМ ОВ (без сдвига дисперсии) основным фактором влияющее на качество сварки является несовпадение диаметров поля моды волокон.А также продольные и угловые смещения, загрязнение и деформация сердечника тоже являются факторами влияющие на качество сварки. Их влияние может быть сведено до минимума за счет использования опытных техников, оборудования автоматического выравнивания волокна и современного сварного оборудования.

3.5.Оптические разветвители

Одним из наиболее важных устройств, относящихся к пассивным компонентам ВОЛС, является оптический разветвитель (coupler, другое название splitter). Разветвители широко используются при построении распределенных волоконно-

коаксиальных сетей кабельного телевидения, а также в межгосударственных проектах полностью оптических сетей (all-opticalnetworks). В обоих случаях сети без использования разветвителей были бы значительно дороже.

Оптический разветвитель представляет собой в общем случае многополюсное устройство, в котором излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между его остальными оптическими полюсами.

Различают направленные и двунаправленные разветвители, а также разветвители, чувствительные к длине волны и нечувствительные. В двунаправленном разветвители каждый полюс может работать или на прием сигнала, или на передачу, или осуществлять прием и передачу одновременно, так что группы приемных и передающих полюсов могут меняться местами в функциональном смысле.

Основные категории оптических разветвителей следующие:

- древовидный разветвитель;
- звездообразный разветвитель;

Древовидный разветвитель (treecoupler)

Древовидный разветвитель осуществляет расщепление одного входного оптического сигнала на несколько выходных, или выполняет обратную функцию — объединение нескольких сигналов в один выходной (рис. 16.1, а). Обычно древовидные разветвители распределяют мощность в равной степени между всеми выходными полюсами. Конфигурация полюсов обозначается как n x m, где n — число входных полюсов (для древовидного разветвителя n = 1), а m — число выходных полюсов, когда устройство работает в режиме расщепления. В поставляемых в настоящее время моделях количество выходных портов может находиться в пределах от 2 до 32. Большинстводревовидных разветвителей полностью двунаправленные. Поэтому разветвитель может выполнять функцию объединения сигналов. Передаточные параметры для разных выходных полюсов разветвителя стремятся делать более близкими друг другу.

Звездообразный разветвитель (starcoupler)Звездообразный разветвитель обычно имеет одинаковое число входных и выходных полюсов. Оптический сигнал приходит на один из n входных

полюсов и в равной степени распределяется между п выходными полюсами, Большее распространение получили звездообразные разветвители 2x2 и 4x4. Во избежание путаницы по входным и выходным полюсам, принято обозначать входные полюса латинскими буквами, а выходные полюса — цифрами, рис.3.7.. Звездообразные разветвители распределяют мощность в равной степени между всеми выходными полюсами.

Ответвитель (tap)Ответвитель — это обобщение древовидного разветвителя, когда выходная мощность распределяется необязательно в равной пропорции между выходными полюсами, рис. 3.19, в. Конфигурации ответвителей бывают 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32. Некоторая доля (меньше 50%) выходной мощности идет на канал (каналы) ответвления, в то время как большая часть остается в магистральном канале. Выходные полюса нумеруются в порядке убывания мощности.

Оптические разветвители делятся на селективные (чувствительный к длине волны) и неселективные. Выше рассмотренные разветвители относятся к неселективным.

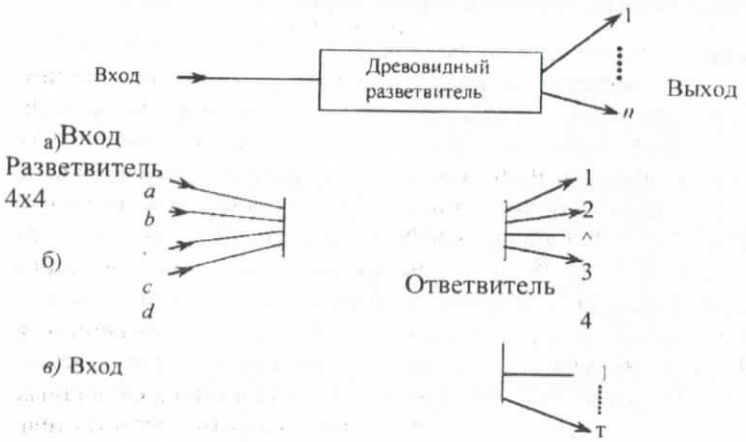


Рис. 3.19. Типы разветвителей:
а) - древовидный разветвитель;***б)*** - звездообразный разветвитель; ***d)***ответвитель.

Оптические аттенюаторы

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. Затухание может вноситься посредством воздушного зазора фиксированной величины, или посредством специального поглощающего фильтра, встроенного в аттенюатор. В последнем случае значительно уменьшается обратное отражение, поскольку фильтр имеет близкий к волокну показатель преломления, что сильно уменьшает обратное френелевское рассеяние.Доступны разнообразные исполнения аттенюаторов: аттенюаторы- шнуры, аттенюаторы- розетки, аттенюаторы-FM розетки. ***Аттенюаторы- шнуры*** оконцовываются с обеих сторон стандартными соединителями (ST, SC или FC). Затухание в шнуре обеспечивается благодаря специальному волокну. ***Аттенюаторы-розетки*** бывают как переменные (с регулируемым воздушным зазором), так и фиксированные (с нерегулируемым воздушным зазором или фильтром). ***Аттенюаторы-FM розетки***, устанавливаемые между стандартной переходной розеткой и оптическим соединителем, обычно выпускаются с фиксированным набором значений затухания 5, 10,15 и 20 дБ (затухание обеспечивается либо нерегулируемым воздушным зазором, либо фильтром). Затухание вводимое аттенюатором не должна превышать +15 %. Максимальный способность оптического отражения должно быть

на уровне -40 дБ. Диапазон рабочих длин волн аттенюаторов максимально должен составлять от 1360 нм до 1580 нм, а минимально от 1200 нм до 1480 нм.Типичная ширина рабочей длины волны 1310-1580 нм. В аттенюаторах потери зависящие от ПМД должен не превышать 0,3 дБ.

Оптические изоляторы, их построение и принцип работы

Оптический сигнал, распространяясь по волокну, отражается от различных неоднородностей, в особенности от мест сухого стыка, образуемых оптическими соединителями. В результате такого отражения часть энергии возвращается обратно. Если в качестве источников излучения используются лазерные диоды, то отраженный сигнал, попадая в резонатор лазера, способен индуцировано усиливаться, приводя к паразитному сигналу. Особенно это не желательно, когда источник излучения генерирует цифровой широкополосный сигнал (>100 МГц), или аналоговый широкополосный сигнал (в смешанных волоконно-коаксиальных сетях кабельного телевидения до 1 ГГц). В сложных широкополосных сетях, когда имеется множество подключений коннекторов и другие оптические устройства (разветвители, WDM устройства, оптические усилители), такая обратная связь усиливается и приводит к росту уровня шума источника излучения. Наиболее кардинальный способ подавления обратного потока основан на использовании оптических изоляторов. Оптический изолятор обеспечивает пропускание света в одном направлении почти без потерь, а в другом (обратном) направлении с большим затуханием. Оптические изоляторы сегодня являются ключевым элементом многих лазерных систем, оптических усилителей, а также используются в качестве отдельного элемента оптической линии связи.

Вращение плоскости поляризации

В основе работы оптического изолятора лежит эффект Фарадея — вращение плоскости поляризации света оптически неактивными веществами под действием продольного магнитного поля.

Угол поворота плоскости поляризации равен О = VB,d, где-то — постоянная Верде (Ver- det) — удельное магнитное вращение,

зависящая от природы вещества, температуры и длины волны света, В, — продольная составляющая индукции магнитного поля, d — длина пути света в веществе

— размер ячейки Фарадея. Направление вращения зависит только от природы вещества и направления магнитного поля. Знак вращения отсчитывается для наблюдателя, смотрящего вдоль магнитного поля. Магнитное вращение плоскости поляризации обусловлено возникновением асимметрии оптических свойств вещества под действием магнитного поля.

Зависимость вращения плоскости поляризации от длины волны света называется *вращательной дисперсией.* В первом приближении в области достаточно малых длин волн, удаленных от полос поглощения света веществом, угол вращения плоскости поляризации зависит от длины волны света X по закону Био: 0-X
Принцип действия оптического изолятора

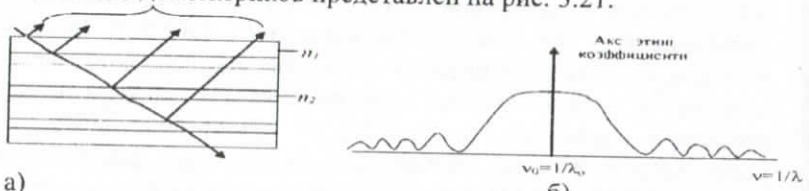
Оптический изолятор состоит из трех элементов: поляризатора 1 (входного поляризатора), ячейки Фарадея 2 и анализатора 3 (выходного поляризатора), рис. 3.20. Параметры ячейки Фарадея выбираются так, чтобы ось поляризации света, проходящего через нее, разворачивалась на 45'. Под таким же углом устанавливаются оси поляризаторов.

Входной полезный сигнал, проходя через поляризатор 1, оставляет свою вертикальную составляющую без изменения, устраняя горизонтальную составляющую, рис. 3.20. а. Далее вертикально поляризованный свет проходит через ячейку Фарадея 2, разворачивает плоскость поляризации на 45' и беспрепятственно проходит через анализатор 3.

При распространении света в обратном направлении (рис. 3.20. б) он также поляризуется в плоскости анализатора 3, затем, проходя через ячейку Фарадея 2, становится горизонтально поляризованным. Таким образом, оси поляризации света и поляризатора 1 составляют угол 90', поэтому поляризатор 1 не пропускает обратное излучение.

имеют возможность подавлять соседние каналы. В качестве оптических фильтров также применяются демультиплексоры.Отдельно оптические фильтры состоят из многослойных диэлектриков и дифракционных рещеток.

Принцип работы оптического фильтра состоящий из многослойных диэлектриков представлен на рис. 3.21.



а) б)

Рис. 3.21. Принцип работы оптического фильтра состоящий из многослойных диэлектриков: *а)* - построение многослойного диэлектрика; б) - спектралное зависимость коэффициента отражения.

3.6.Оптический мультиплексор и демультиплексор

Впервые технология плотного волнового уплотнения оптического волокна была предложена компанией AT&T (США).

DWDM (DenseWavelengthDivisionMultiplexing) – является транспортной технологией и обеспечивает передачу цифровых потоков небольшой скорости. Это достигается мультиплексированием отдельных оптических длин волн излучения, на каждой из которых передается независимые друг от друга цифровые потоки. Это оборудование имеет возможность использования от 16 до 128 оптических каналов в одном оптическом волокне со скоростью передачи информации цифровых потоков от 100 Мбит/с до 100 Тбит/с.

При строительств магистральных сетей телекоммуникации рекомендуется использовать DWDM мультиплексоры с высокоскоростными интерфейсами. При этом расстояние между мультиплексорами может достигать 100 км, а расстояние между регенераторами может достигать 500-600 км и более. Для строительства надежных DWDM сетей используются Add-Drop (OADM) мультиплексоры, обеспечивающие вход и выход и эти системы DWDM позволяют строить оптические транспортные

магистрали (без преобразования оптическое – электрическое и оптическое преобразования).

С помощью этой технологии можно организовать передачу по одному оптическому волокну 10 оптических каналов со скоростью передачи цифровой информации по каждому оптическому каналу 2 Гбит/с. В данном случае, такие оптические каналы организуются на отдельной длине волны излучения и количество оптических каналов может достигать до 160.

На рис 3.22. приведены оптической мультиплексор и демультиплексор.

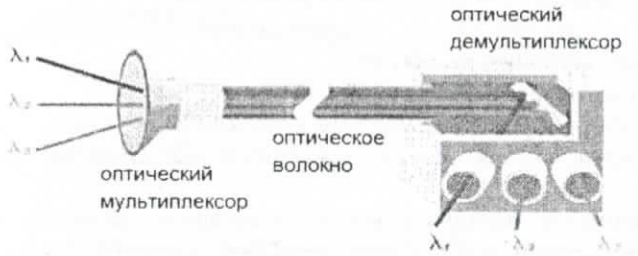


Рис. 3.22. Оптический мультиплексор и демультиплексор.

В этой технологии для выделения различных длин волн излучения используются специальные оптические устройства. При прохождении оптического сигнала по волоконно-оптической линии связи, он затухает и для его усиления используется оптический усилитель. Это позволяет организацию оптический связи (преобразования О-Э-О) до 4000 км.

Технология DWDM имеет следующие преимущества:

- высокая скорость передачи;
- простота наращивания оптических каналов на действующих магистральных линиях связи;
- возможность 100% резервирования оптических каналов в кольцевых топологиях сети телекоммуникации;
- возможность использования технологии DWDM в оптических каналах, организуемых в оптическом волокне.

Использование технологии DWDM в условиях городской сети телекоммуникации.

Использование DWDM в условиях городской сети телекоммуникации в основном называется MetroDWDM. Этот метод используется в надежной кольцевой топологии и обеспечивает защиту трафика. Обычно используется недорогое, рассчитанное на выделение 12-ти длин волн мультиплексор OADM. Использование этой технологии позволит:создание высокоскоростных транспортных сетей на базе топологий «точка-точка» и «кольцо»;возможность создания мощного магистрального транспортного кольца города, позволяющая работу многих пользователей высокоскоростных потоков с различными протоколами взаимодействия.

Оборудование DWDM состоит из 4-х узлов:

- оптический терминальный мультиплексор (Opticalterminalmultiplexer, OTM);
- регенератор (Regenerator - REG);
- оптическийусилитель (Optical Line Amplifier - OLA);
- мультиплексорвводаивывода (Optical Add Drop Multiplexer - OADM).

Оптический терминальный мультиплексор размещается на оконечной станции и выполняет функцию волнового уплотнения сигналов различных систем:

- оптический усилитель усиливает сигнал;
- оптический регенератор восстанавливает форму группового сигнала, уменьшает джиттер и улучшает отношение сигнал/шум;
- в мультиплексорах ввода и вывода в основном осуществляется ввод и вывод оптических каналов.

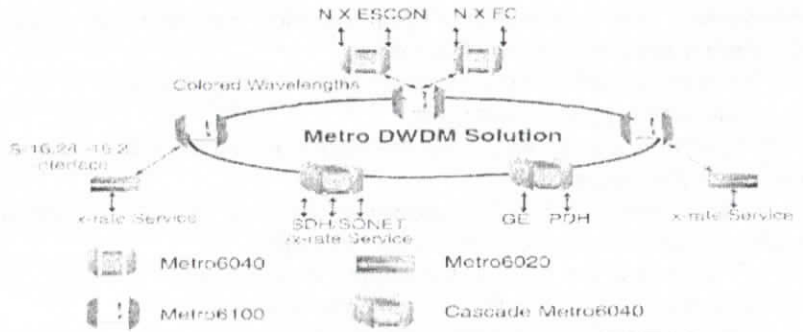


Рис. 3.23. Применение устройств в MetroDWDM на сети телекоммуникации.

Стандарт DWDM Таблица 3.1.

Уровень системы	
Объем, Гбит/с	100 (по 2.5 Гбит/с 40 каналов)
Формат	OC – 48 (STM-16)/ OC- 48/ xSTM-16
Частотный план	50 ГГц
Возможная конфигурация	5 секции 25 Дб (500 км) 2 секции 33 Дб (240 км)
Частота, на которой возможна ошибка	$<10^{-15}$
Канальный интерфейс	
Формат	Короткое расстояние STM-16/G.957 1-16&S.16.1 приложения внутри офиса
Уровень входного сигнала, Дб	от -18 до -3
Уровень выходного сигнала, Дб	-5 ± 0.5
Длина волны, вводимого излучения, нм	1250-1600
Управление сетью	
Система управления	Продукция SNMP или TMNWaveWatch^{TM}CIENA
Стандарт интерфейса	VT100(TM) асинхрон RS-232, Telnet, ITUTMN, TL-1, SNMP подключение на дальние расстояния
Мониторинг работоспособности каналов	Битовая ошибка через канал B1 в заголовке SDH, контроль оптической мощности в каждом канале
Дальние интерфейсы	RS-422/X.25 (TL-1 интерфейс), через IP/802.3 10 Base 10Base-T
Канал оптической службы	2.048 Мбит/с на длине волны 1625 нм
Электропитание	
Напряжение питания, В постоянный ток	от -4 до -58

Мощность потребляемая 40 каналов, Вт	Типичное 800 1-столбец (максимум)925; Типичное 1000 2- столбец (максимум)1250

На рис. 3.24. приведены гистограммы, показывающие возможность повышения пропускную способность волоконно-оптических линий связи при использовании технологий DWDM в синхронных сетях с передачей по каждому каналу объем информации 2,5 Гбит/с, 10 Гбит/с и 40 Гбит/с.

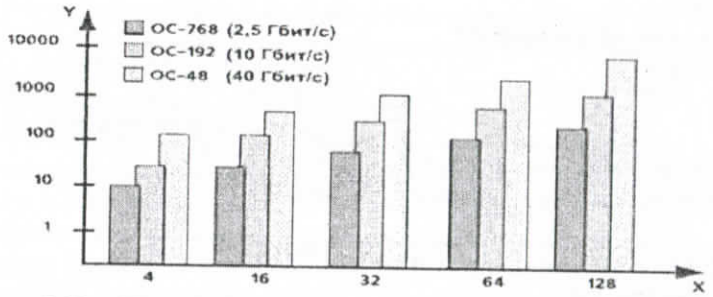


Рис. 3.24. Повышение пропускной способности оптического волокна при передаче по каждому оптическому каналу трех скоростей информации и возможное количество оптических каналов.

На рис. 3.24. x – число спектральных (волновых) каналов, y – скорость передачи информации по одному оптическому волокну.

Из рисунка видно, что технология DWDM позволяет повысить пропускную способность оного оптического волокна до нескольких Тбит/с.

3.7.Технология CWDM

Система CWDM обычно считается грубой относительно DWDM систем, то есть использует сетку частот 20 нм. Если используется более 8 каналов волнового уплотнения, то эта система может заменить дорогостоящую DWDM систему.

Такие системы в первую очередь использовались на городских сетях телекоммуникации или «Metro» (по стандартам IEEE 802.6,

ISO/IEC 8802-6 MAN – MetropolitanAreaNetwork) класса, трех уровневых (LAN, MAN, WAN) сетях.

По рекомендации ITU – TG.694.2 предназначено для шага 20 нм с 18 длинами волн излучения.

Технология CWDM используется уплотнения несколько каналов оптического канала с GigabyteEthernet, которые экономит ресурсы оптического волокна и используя оптические мультиплексоры можно создать новые решения топологии сетей.

Основная цель создания технологии CWDM – это получение аппаратуры намного дешевле, чем DWDM системы.

Современные оборудования CWDM занимают диапазоны C и L и частично диапазон S. Для обеспечения совместимости оборудований разных производителей по Рекомендации ITU-T расстояние между каналами определено равной 20 нм.

Первоначально технология CWDM работала по многомодовому оптическому волокну около длины волны излучения 800 нм. Эти системы позволяли получать 2 или 4 канала и дальность передачи было менее 2 км, а скорость передачи было меньше 500 Мбит/с.

Системы с волновым уплотнением имеют несколько вариантов. В табл. 3.3. приведена классификация наиболее часто встречающихся вариантов.

Таблица 3..3.

	CWDM (не плотное)	DWDM (плотное)	HDWDM (сверх плотное)
Расстояние между каналами	20, 25 нм	1,6 нм 200, 100, 50 ГГц	0,4 нм 25, 12, 5 ГГц
Диапазон	O, E, S, C, L	S, C, L	C, L
Число каналов	максимум 18	десятки/сотни	десятки
Стоимость	низкая	высокая	высокая

В табл. 3.3 указаны:
O – первичный диапазон (Original, 1260-1360 нм),
E – расширенный диапазон (Extended, 1360-1460),
S – диапазон коротких волн (Shortwavelength, 1460-1530),
C – стандартный диапазон (Conventional, 1530-1570),
L – длинноволновый диапазон (Longwavelength, 1570-1625).

В системах CWDM имеют две проблемы:

- на малых длинах волн излучения имеется, примерно, в два раза больше затухания, а это заметно уменьшает дальность передачи;

- из-за наличия группы гидроксил OH на длине волны излучения 1383 нм имеется пиковое затухание, поэтому имеется ограничение числа оптических каналов.

В системах передачи CWDM при скорости передачи по одному каналу 2,5 Гбит/с в 16 каналах достигается скорость передачи 40 Гбит/с. При использовании диапазона длин волн 1270-1610 нм система называется FS- CWDM (FullspectrumCWDM). В настоящее время технология CWDM по параметру дальности передачи может удовлетворить требованиям DWDM систем.

Низкая стоимость оборудований CWDM систем достигается из-за низкой стоимости активных и пассивных компонентов за счет большого разброса частот оптических каналов.

Рассмотрим наиболее часто используемых вариантов технологии CWDM:

- топология «точка-точка». Информация передается между двумя точками. Мультиплексоры и демультиплексоры устанавливаются в узлах соединения/разъединения цифровых потоков различных оптических волокон. С помощью таких систем можно решать задачи передачи многочисленных видео и аудио информации в реальном масштабе времени даже при ограниченном количестве оптических волокон в оптической сети.

- распределительная топология. Передача информации из узла в узел решается отдельными каналами входа/выхода промежуточных узлов. Из-за потери уровня сигнала дальность связи уменьшается. Такая система применяется на транспортных магистралях, в системах передачи нефти и газа и в других объектах видеонаблюдения;

- «кольцевая топология». Такая топология решает задачу защиты параметра. При обрыве «кольца» сеть сохраняет работоспособность между примерными узлами.

В 2002 году ITU-T принял Рекомендацию G.694.2.

В соответствии с этой Рекомендацией кроме известных диапазонов C, S и L добавлены диапазон O (1260-1360нм) и диапазон E (1360-1460нм).

Выводы

- В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам. Современные стандарты определяет характеристики не отдельного кабеля, а полного набора элементов, необходимого для создания кабельного соединения, например шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля, жесткого кроссового соединения и шнура до концентратора. Сегодня наиболее употребительными стандартами являются: американский стандарт EIA/TIA-568A, международный стандарт ISO/IEC 11801, европейский стандарт EN50173, а также фирменный стандарт компании IBM.
- Стандарты определены для четырех типов кабеля: на основе неэкранированной витой пары, на основе экранированной витой пары, коаксиального и волоконно-оптического кабелей.
- Кабель на основе неэкранированной витой пары в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий. Кабели ***категории 1*** применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Главная особенность кабелей ***категории 2*** - способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц. Кабели ***категории 3*** широко распространены и предназначены как для передачи данных, так и для передачи голоса. Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3 и на практике используются редко. Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов FDDI, Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, ATM и Gigabit Ethernet.
- Кабель на основе экранированной витой пары хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а пользователей сетей - от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку. Экранированный кабель применяется только для передачи данных. Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся на типы: Type 1, Type 2, Type 9, из которых основным является кабель Type 1.
- Коаксиальные кабели существует в большом количестве вариантов: «толстый» коаксиальный кабель, различные разновидности «тонкого» коаксиального кабеля, которые обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по

сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем, зато за счет своей гибкости более удобны при монтаже, сюда же относится телевизионный кабель.

Волоконно-оптические кабели обладают отличными электромагнитными и механическими характеристиками, недостаток их состоит в сложности и высокой стоимости монтажных работ

Контрольные вопросы

1. Принцип построения и какие виды ВОЛС Вы знаете?
2. Объясните конструкцию и составные части ОВ.
3. Классификация ОК по назначению и условиям прокладки.
4. Классификация кабелей подземной и подводной прокладки.
5. Классификация подвесных кабелей.
6. Оптические волокна, модули и сердечники
7. Многомодовые градиентные световоды.
8. Стандартные одномодовые волокна.
9. В каких целях используются оптические аттенюаторы?
10. Объясните назначение и принцип работы оптического изолятора.
11. Какое назначение оптического фильтра?

4.МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

4.1.Назначение электрических измерений

Путем **электрических измерений** линий связи осуществляется:

– проверка соответствия нормам электрических характеристик линий связи в процессе строительства и приема в эксплуатацию;

– проверка соответствия нормам электрических характеристик действующих линий связи и выявление участков линий, не удовлетворяющих нормам, с целью предупреждения и предотвращения повреждения связи;

– определение характера и места повреждения линий связи;

– проверка качества произведенного ремонта.

В соответствии с этим **электрические измерения** линий связи подразделяются на:

– измерения в процессе строительства,

– приемо-сдаточные,

– профилактические,

– измерения по определению характера и места повреждения,

– измерения по проверке качества ремонтных работ.

Измерения линий связи производят постоянным и переменным токами. Измерения **постоянным током** проще, требуют меньше времени и позволяют сделать заключение о соответствии нормам наиболее подверженных изменению характеристик цепей линии: сопротивления изоляции, сопротивления петли (шлейфа), омической асимметрии. Кроме того, измерение постоянным током является основным способом определения наиболее часто встречающегося вида повреждения – повреждения изоляции. Однако электрические свойства цепей линии связи, характеризующие условия передачи по ним электромагнитной энергии, и защищенность цепей можно определить наиболее полно только при помощи измерений переменным током. Кроме того, **измерения переменным током** позволяют определять места таких повреждений, как сосредоточенная асимметрия, неоднородность и ряд других, которые не всегда можно найти методами постоянного тока.

Измерения переменным током производят после измерений постоянным током и только тогда, когда данные измерений постоянным током соответствуют нормам измерения после устранения неисправностей измеряемого объекта.

Измерения постоянным током на цепях линий связи проводят в такой последовательности: сопротивление изоляции, сопротивление цепи, омическая асимметрия цепи (только у симметричных цепей), рабочая емкость цепи (только у симметричных цепей), электрическая прочность изоляции.

Измерения переменным током цепей **симметричных кабелей** проводят в такой последовательности: переходное затухание между цепями и защищенность цепей, емкостная связь и асимметрия, собственное затухание, рабочая емкость, входное сопротивление или затухание несогласованности цепей, электрическая однородность, затухание асимметрии цепей.

Измерения переменным током **коаксиальных пар** проводят в следующей последовательности: однородность волнового сопротивления, входное сопротивления, собственное затухание, переходное затухание между цепями и их защищенность.

Повреждения, возникающие в процессе производства. Обрыв жил, появляющийся при скрутке, устраняется соединением (скруткой) их внутри строительных длин кабеля с последующей пропайкой. Недоброкачественная спайка приводит к омической асимметрии, а следовательно, к повышению взаимного влияния между цепями. Металлические опилки и стружки, попадающие в коаксиальные пары, снижают электрическую прочность изоляции.

В результате остановок свинцового пресса для заправки новой порции свинца на свинцовой оболочке образуются утонченные места (шейки), уменьшающие механическую прочность оболочки. Кроме того, остановки пресса вызывают оплавление и спекание стирофлексной изоляции, что создает очаги неоднородности и понижает электрическую прочность изоляции.

Недоброкачественная сварка алюминиевых оболочек кабелей приводит к появлению отверстий и участков с пониженной механической прочностью.

Повреждения, возникающие при строительстве. Чрезмерные напряжения, случающиеся в процессе механизированной прокладки кабелей, являются причинами обрывов отдельных проводников и трещин на свинцовой оболочке кабеля. Изгибы кабелей с недопустимо малым радиусом приводят к снижению электрической прочности изоляции и коротким замыканиям в коаксиальных парах. Большое число повреждений появляется из-за недоброкачественной запайки соединительных муфт (нарушается герметичность кабеля). Плохо

выполненные пайки жил в дальнейшем приводят к их обрывам, а в некоторых случаях вызывают нелинейные искажения.

Ошибки в соединении жил, приводящие к разбитости пар, вызывают увеличение взаимных влияний между цепями.

Возможные при симметрировании кабелей случаи ошибочного соединения жил кабеля.

Дефекты прокладки и монтажа должны выявляться путем электрических измерений и устраняться в процессе монтажных работ.

Повреждения, возникающие в процессе эксплуатации. Вскрытие грунта при строительных работах на трассе кабеля и обвалы грунта на крутых склонах оврагов и берегов рек могут привести к повреждению защитной и свинцовой оболочек кабеля, обрыву части жил кабеля и даже к полному обрыву кабеля.

Одной из причин повреждения оболочки кабеля является коррозия. Оболочка подвергается разрушению, что при отсутствии надлежащей защиты приводит к нарушению ее герметичности. Разряды молнии поблизости от трассы кабеля вызывают повреждения оболочки кабеля, обгорание изоляции, ее пробой и расплавление жил.

4.2. Виды измерений

Основными оптическими параметрами, которые необходимо контролировать при монтаже и эксплуатации ВОЛС, являются:

-суммарные потери в линии, дБ;

-Затухание и распределение затухания в ВОЛС, дБ/км;

-затухание в соединителях и элементах ВОЛС (сварочные соединения, разъемы, разветвители), дБ;

-длина тракта и расстояния до неоднородностей, м;

-коэффициент отражения в тракте, дБ;

-определение точного места обрыва оптических волокон при авариях, км;

-измерение фактических значений хроматической и поляризационно-модовой дисперсии, пс.

ЦЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ!

Измерения – это единственный способ при строительстве и эксплуатации объектов связи, который позволяет установить соответствие реальных параметров заданным требованиям и если их результат не соответствует этим требованиям, обнаружить место повреждения.

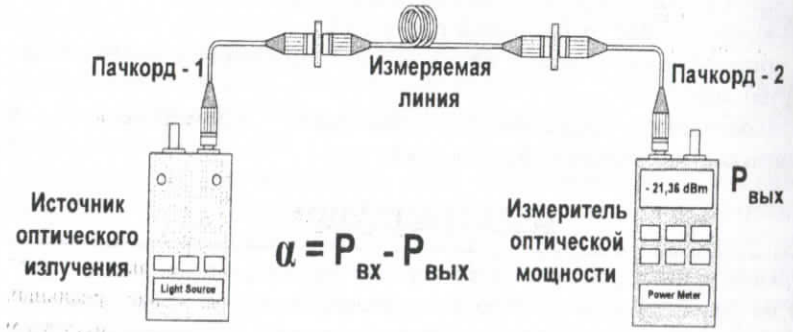
Цвет (длина волны) - измеряется в *нанометрах(нм)* или *микронах (мкм)*

- **300нм (голубой) – 700нм (красный)видимый человеком свет.**
- **ВОЛС используют инфракрасный диапазон излучения (850, 1310, & 1550нм).**

1. Прямой метод измерения оптических потерь.

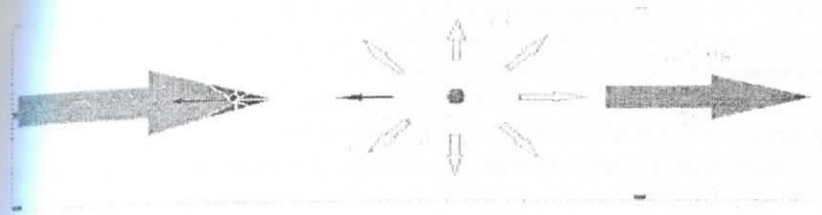
Калибровка

Измерение.



Измерение оптических потерь с помощью рефлектометра.

Релеевское рассеяние.



При прохождении света по волокну часть его энергии *рассеивается* во всех направлениях. Малая часть рассеянного свет а возвращается обратно к источнику света (примерно 0,0001%).

Френелевское отражение.

До 4% света отражается при прохождении света из одной среды в другую.

Стоимость измерений, заложенная в проектную документацию на строительство ВОЛС, очень высока. Причин этому две: большая цена измерительной аппаратуры и избыточность в количестве измерений.

При нарушении технологии работ ОК может быть поврежден на любом этапе строительства, поэтому контрольные измерения необходимы перед началом и по окончании каждого строительного процесса. Результаты всех измерений записывают в отдельную форму (таблицу) паспорта линии. Особенностью измерения параметров волоконного тракта при его монтаже является большой объём измерений мест соединений. При контроле качества сварных соединений требуется измерить значение вносимого затухание порядка 0,001-0,05дБ.

При строительстве ВОЛС рекомендуется следующий объем измерений:

1.При приемке кабеля от заказчика рефлектометром измеряют параметры оптических волокон только на барабанах, которые имеют внешние повреждения или предельные значения затухания по паспорту хотя бы у одного ОВ, и принимается решение о возможности прокладки этого кабеля.

2.Перед прокладкой ОК на каждой строительной длине рефлектометром измеряют затухание всех ОВ.

3.Измерения желательно проводить в условиях, указанных в паспорте (длина волны, индекс или коэффициент скорости распространения, длительность зондирующего импульса и т.д.), а если эти условия обеспечить нельзя, это учитывают при сопоставлении данных паспорта с измеренными.

4.После прокладки ОК на каждой строительной длине проводят контрольные измерения затухания всех ОВ. В паспорт также записывают маркерное (по меткам на кабеле) значение длины на конце проложенной линии.

5.После прокладки каждой строительной длины ОК мегомметром измеряют электрическое сопротивление изоляции шланга между броней и «землей».

6.При монтаже муфт после укладки сростка в кассету рефлектометром проводят контрольное измерение его затухания. Если оно не превышает 0.05дБ и расхождение показаний рефлектометра и сварочного устройства в пределах погрешности измерений, сращивание ОВ считается завершенным. В противном случае проводят дополнительные, но не более 4, сращивания этих волокон до получения заданного (0.05дБ) уровня затухания сростка.

7.В таблицу записывают все значения уровней затухания, а также кабельные метки длины на входе и выходе из муфты.

8.На каждом полностью смонтированном регенерационном участке линии все ОВ измеряются рефлектометром с двух сторон.

9..Последние измерения следует выполнять по возможности теми рефлектометрами, с которыми будут работать на линии в период эксплуатации, а результаты записывать на информационный носитель (диск, дискету) или во внутреннюю память рефлектометра.

10.В память вносят и измеренные ранее данные о муфтах: их расстояние, затухание ОВ. Сохраненную информацию используют

потом для сопоставления рефлектограмм при эксплуатационных измерениях.

Эксплуатационные измерения на ВОЛС включают:

- -измерения уровней оптической мощности;
- -измерения затухания сигналов;
- -определение места и характера повреждения ВОК.

При этих измерениях следует обеспечивать оптимальное разрешение, минимальные мертвые зоны, малое время измерения.Измерения уровней оптической мощности и затухания сигналов взаимосвязаны. Применительно к ВОЛС решение этой простой задачи имеет определенные трудности, поскольку результаты измерения уровня сигнала зависят от параметров оптического интерфейса генератора тестового оптического сигнала, качества обработки торца волокна, точности юстировки излучателя относительно этого торца и др.

4.3. Измерения затухания

Анализ волоконно-оптической среды передачи информации основан на использовании стабилизированных источников излучения (StabilizedLightSource-SLS) и приемников оптических сигналов (Electro-OpticalReceiver-EOR), параметры которых определяют характеристики средств контроля и показатели ВОК.

На основе данных оптоэлектронных устройств реализуются:

-оптические время-импульсные рефлектометры (OpticalTimeDomainReflectometr-OTDR);

-измерители уровня оптической мощности (OpticalPowerMeter-OPM);

-анализаторы затухания оптического кабеля (OpticalLossTestSet-OTS).

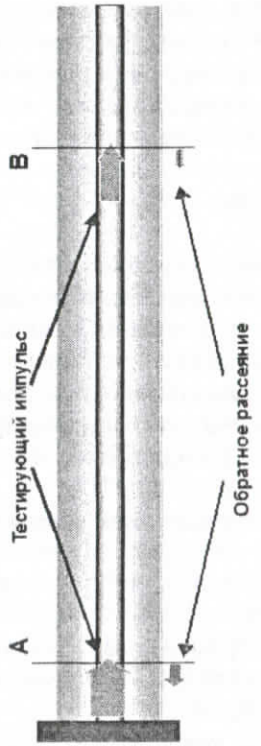
При этом OTDR применяются для анализа ВОЛС с одной стороны кабеля, а OPM и OTS предназначены для измерения на участке вход-выход ВОК.

Измерения с одного конца кабеля дают возможность быстрой локализации неисправности при эксплуатации ВОК. Эти преимущества OTDR по сравнению с OPM, которые требуют организации изменений по схеме точка-точка, обусловили их

популярность в эксплуатации. Кроме того, визуальный анализ качества кабелей по рефлектограмме нагляден и удобен.

4.3.1 Измерение затухания в волокне.

Уровень обратного рассеяния прямо пропорционален уровню мощности в тестирующем импульсе. Уровень мощности импульса уменьшается по мере прохождения света по волокну, тоже происходит и с уровнем обратного рассеяния. Рефлектометр с определенной дискретностью по длине волокна определяет уровень обратнорассеяного свете и строит ***рефлектограмму*** - график затухания света в волокне в зависимости от расстояния.

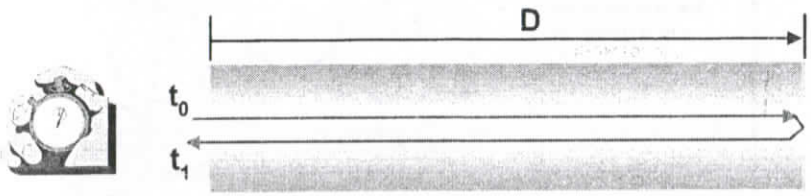


Принцип измерения параметров ОВ рефлектометром

4.3.2.Измерение расстояния по волокну.

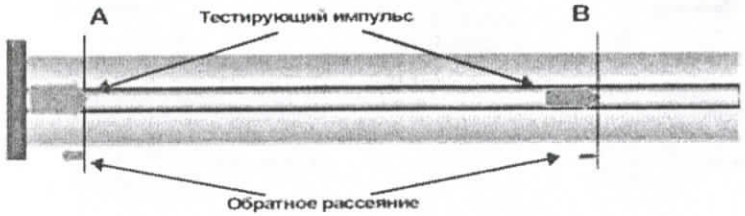
$$D = \frac{C\,t}{2\,n}$$

D - длина волокна;
C - скорость распространения света в вакууме;
t - время распространения света в волокне;
n - показатель коэффициента прелом- ления света в волокне.



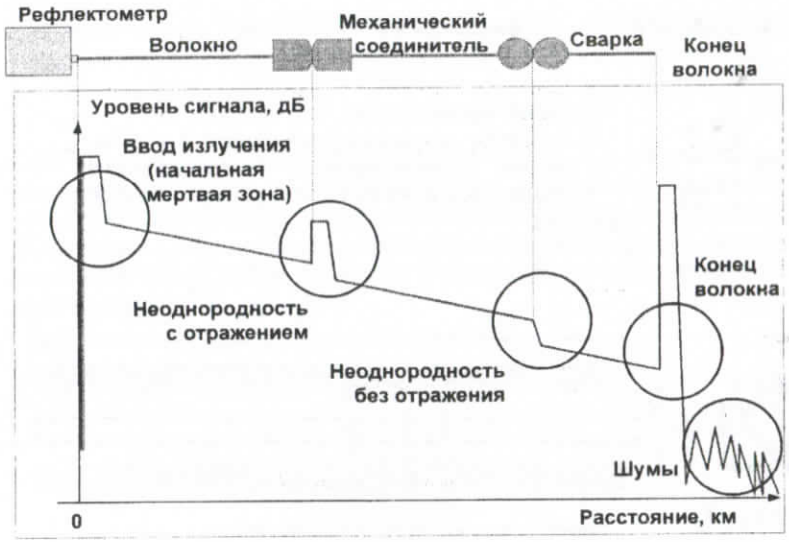
$t = t_1 - t_0$

Скорость света в вакууме: 299,792,460 м/с.

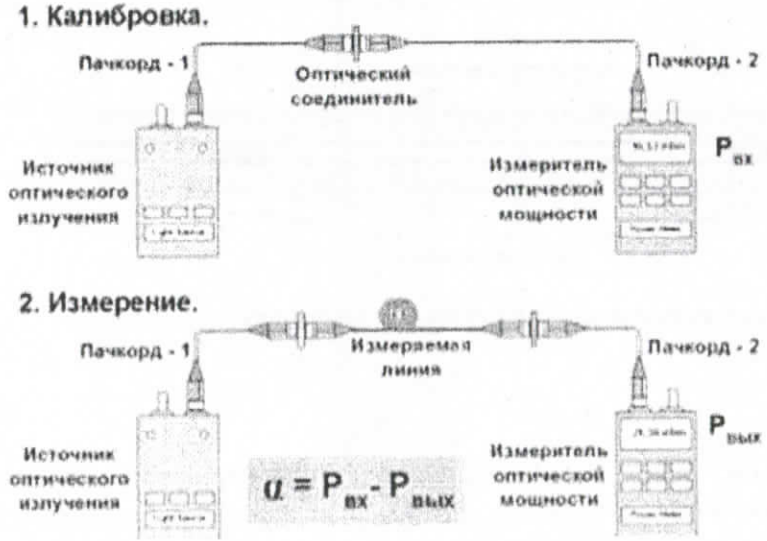


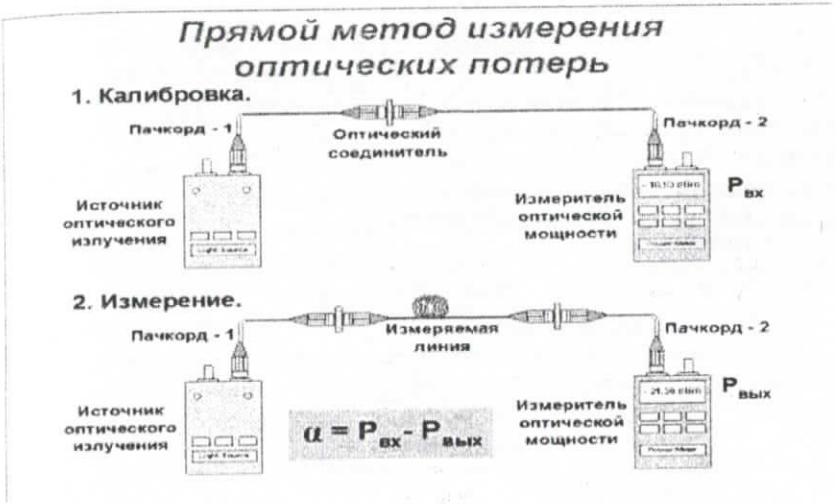
Прямой метод измерения оптических потерь

Общий вид рефлектограммы. Рефлектограмма и ее характерные участки.

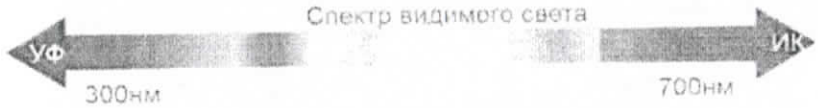


Измерение затухания в волокне





- Цвет(длина волны)
- Мера *«цветность»* оптического излучения
- Измеряется в *нанометрах(нм)* или *микронах (мкм)*
- Разные цвета (длина волн) – разные характеристики:



300 нм (голубой) - 700 нм (красный) видимый человеком свет

ВОСП используют инфракрасный диапазон (850, 1310, 1550 нм)

Метод обратного рассеяния

Принцип действия оптического рефлектометра основан на методе обратного рассеяния. Упрощенная структурная схема оптического рефлектометра представлена на рис.4.1.

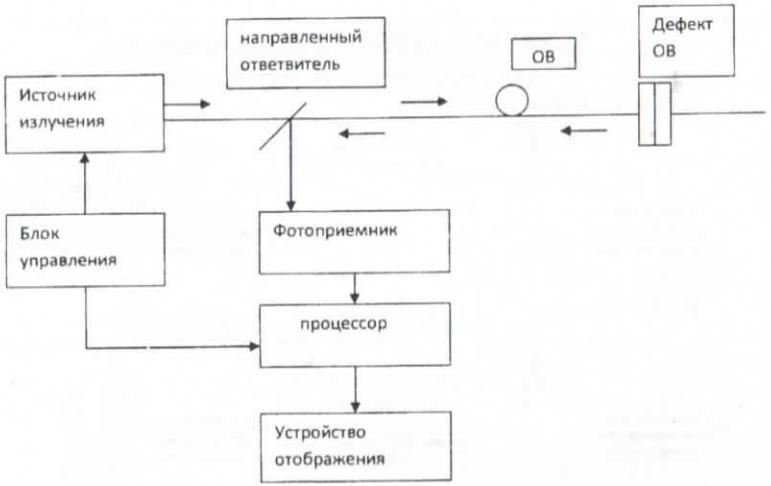


Рис.4.1. Упрощенная структурная схема оптического рефлектометра

Принцип действия оптических рефлектометров основан на обработке процессором электрического сигнала оптического приемника, пропорционального световому потоку, отраженному от неоднородностей световода и являющегося частью импульсного светового потока, излучаемого источником (рис.4.2).

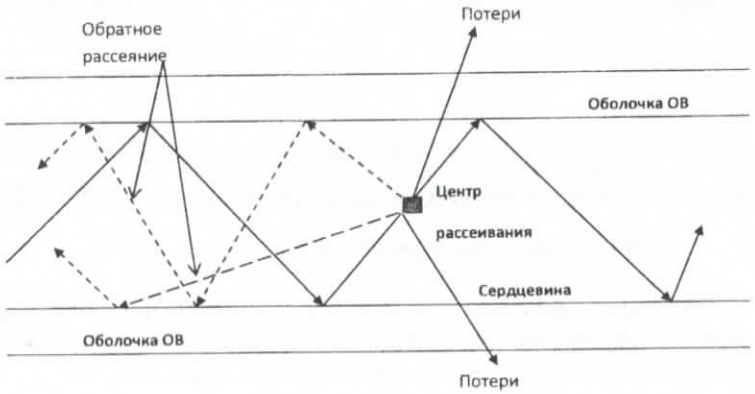


Рис.4.2 Обратное рассеяние света на неоднородностях волокна

Для разделения прямого и обратного световых потоков используется направленный ответвитель, подключенный к выходу излучателя, фотоприемнику и контролируемой линии связи соответственно. В результате, синхронизируемой генератором блока управления цифровой обработки выходного сигнала оптического приемника, на экране дисплея формируется **рефлектограмма** - зависимость отраженной мощности излучения от длины оптического кабеля (рис. 4.3).

Вертикальная шкала определяет уровень рассеянного (отраженного)сигнала в логарифмических единицах. Горизонтальная ось соответствует расстоянию от рефлектометра до тестируемой области волокна. Наклонная прямая характеризует обратное рассеяние в самом олокне.

Рис.4.3 Типичная рефлектограмма ВОЛС

На рефлектограмме можно увидеть отражения сигнала от мест некачественного соединения кабелей, от мест сварки, области случайного рассеяния и отражения, вызванные технологическими неоднородностями в материале ОВ (частицы примеси, дефекты структуры и д.р.), отражение сигнала от дальнего конца кабеля.

Начальный выброс уровня обусловлен **френелевским отражением,** вызванным резким изменением коэффициента преломления на торцах волокон в разъемном оптическом соединителе, соединяющем прибор с тестируемым волокном.

Наличие френелевского отражения связано с **«мертвой зоной» (зоной неопределенности)**, появление которой вызвано насыщением приемника OTDR при поступлении на его вход отраженного сигнала высокого уровня, так как в этом случае ему потребуется некоторое время для восстановления чувствительности после подобной перегрузки, а это приведет к потере информации после насыщения. Как результат, определенный сегмент волокна оказывается исключенным из процесса тестирования т.е. **«мертвой зоной»** рефлектрометра называется время восстановления (хотя в действительности это расстояние), в течении которого сильное френелевское отражение маскирует последующие отражения или рассеивания.

Для минимизации «мертвых зон» надо уменьшить длительность зондирующего импульса.На сварных соединениях френелевское отражение отсутствует, так как сколотые торцы волокон сплавляются друг с другом. Однако потери на них все-таки есть за счет **релеевского рассеяния.** На рефлектограмме они отображаются как места увеличение затухания без всплеска мощности отраженного сигнала. Хорошо сваренное соединение трудно обнаружить, так как потери на нем невелики, и появляющаяся на рефлектограмме «ступенька» очень мала. Потери на микроизгибах имеют аналогичные характеристики и их трудно отличить от потерь на сварных соединениях.

Главная причина ухудшения качества оптического волокна состоит в возникновении таких дефектов, как трещины, изломы и обрывы. При тестировании рефлектометром ОВ с указанными дефектами обычно наблюдаются импульсы, соответствующие френелевскому отражению на дефектах. Обрыв или значительные повреждения ОВ отражаются как точки отражения с характерными всплесками мощности отраженного сигнала.

Важным достоинством ВОЛС является их потенциальная долговечность. Однако, для обеспечения долголетней работы необходимы соответствующие условия и главное из них: отсутствие механических напряжений в волокне, которые могут возникать при нарушении технологий производства кабеля, его прокладки, при мерзлотных деформациях грунта, при ветровых нагрузках и обледенении подвесного кабаля, при больших перепадах температуры, при просаживании телефонной канализации или грунта (особенно вблизи высотных зданий и

мостов), при вибрациях кабеля, проложенного вблизи автомагистралей, при землетрясениях, прочих техногенных вмешательствах.

Повышенное натяжение волокна в кабеле вызывает деградацию его прочностных характеристик, что в конце концов приводит к разрыву волокна. Время жизни волокна в нормальных условиях эксплуатации (при относительном удлинении волокна меньше 0,3%) составляет 25 лет и более, но при относительном удлинении 0,6 – 0,7% разрыв волокна произойдет в течение одного года. Поэтому при оценке надежности ВОК необходимо иметь достоверную информацию о натяжении волокна в кабеле. Обычные OTDR не в состоянии определить степень натяжения волокна, поскольку величина оптических потерь при возникновении напряжений в волокне, как правило, остается в пределах нормы вплоть до момента наступления обрыва волокна.

На сегодняшний день единственным прибором, позволяющим, определять распределение напряжений по длине ОВ являются, **бриллюэновские рефлектометры(BOTDR Brilliouinoptical Time Domian Reflectometer)**, выпускаемые японской фирмой ANDO – AQ8602, AQ8603.

Принцип действия этого рефлектометра основан на оценке вынужденного **рассеивания Мандельштама – Бриллюэна**, которое возникает на подвижных неоднорядностях показателя преломления при изменении плотности вещества. В стекле ОВ возникают гиперзвуковые волны (или акустические фононы), на которых происходит нелинейное рассеяние света, в результате чего в спектре излучения появляются новые компоненты (подобно тому, как натяжение струны меняют тон её звучания). Возможности BOTDR основаны на совмещении в одном приборе рефлектометра и спектрального анализатора.

Общие требования к OTDR включают следующие характеристики:

Динамический диапазонрефлектометра идальность обнаружения неоднородности. Ограничение динамического диапазона OTDR составляет 40дБ, что позволяет контролировать ВОЛС протяженностью максимально 200-240 км. Для систем удаленного тестирования более протяженных ВОЛС, требуется OTDR с возможностью контроля ОК до 300 км и более, что может

обеспечить только рефлектометр с динамическим диапазоном равным 45 дБ.

Пространственная разрешающая способность характеризует способность OTDR обнаружить два соседних события. Разрешающая способность зависит от длительности зондирующего импульса (длительность импульса 10 пс соответствует пространственному разрешению 1м, а 20 мкс – 2км).

Длина «мертвой зоны» (в метрах или футах) – одна из важнейших характеристик рефлектометра, поскольку от нее зависит ее пространственная разрешающая способность, а также точность измерения затухания сигнала вблизи события. Ближняя зона нечувствительности для современных рефлектометров составляет от 1 до 20м.

Методы прямого измерения затухания

Если при измерении полных потерь нет необходимости контролировать распределение затухания вдоль тракта ВОЛС, используют простые приборы – **измерители оптической мощности или оптические тестеры (мультиметры).**

Конструктивно **измеритель оптической мощности OPM** представляет собой откалиброванный в единицах мощности оптический приемник, а **оптические тестеры OTS** – выполненные в едином корпусе и согласованные по оптическим характеристикам, источник оптического излучения (**SLS**), измеритель оптической мощности (**OPM**) и блок обработки. Как правило, в этих приборах источниками излучения служат или полупроводниковый лазерный диод (LD) или полупроводниковый суперлюминисцентный светодиод (LED), а фотоприемниками – полупроводниковые фотодиоды: германиевый (Ge), кремниевый (Si) или на основе легированного индием арсенид – гелиевого сплава (InGaAs).

Метод прямого измерения затухания, вносимого ВОК, является типичным измерением «точка - точка» (рис.4.4)

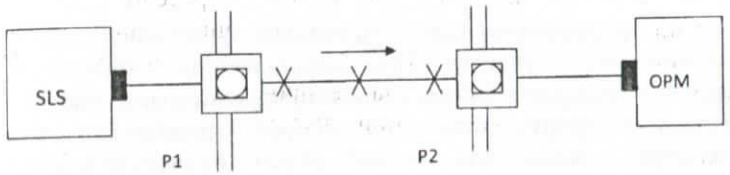


Рис.4.4. Схема измерения затухания ВОК

Метод вносимых потерь менее точен, однако он не требует разрыва волокна. Согласно данному методу, в начале производится измерение оптической мощности на выходах источника оптического излучения и эталонного волокна, а затем измерения проводятся с добавлением к системе волокна, которое необходимо измерить. Разница между этими двумя результатами измерений и представляет собой потери волокна.

При этом, согласно рекомендациям ITU-TG.651, ETA/TTA следует различать два основных метода измерения затухания – методы разрушающего (обрыва) и не разрушающего (вносимых потерь) измерения.

Метод обрыва основан на сравнении значений мощности оптического излучения, измеренной на выходе длинного отрезка волокна, со значением мощности, измеренной на выходе короткого участка волокна, образованного за счет отсечения части его длины (около 2 м), со стороны источника. Метод обрыва является наиболее точным методом измерения затухания, но так как, он требует разрыва волокна, его использование при инсталляции, техническом обслуживании и в полевых условиях неэффективно, поэтому он применяется только при производстве оптических волокон.

Измерение дисперсии

Задачи измерения фактических значений хроматической и поляризационной модовой дисперсий (ПМД) возникают, как при строительстве высокоскоростных линий (от 2,5 Гбит/Т и выше), так и при модернизации уже имеющихся линий с целью увеличения скорости передачи данных.

Измерение фактического значения ПМД в процессе строительства линий позволяет определить ее максимальную

полосу пропускания и правильно рассчитать длину регенерационного участка. При модернизации линии с целью повышения пропускной способности измерение фактической ПМД позволяет получить ответ на вопрос, можно ли поднять пропускную способность линии путем повышения скорости передачи или необходимо внедрение системы передачи на основе спектрального уплотнения (DWDM).

Важным свойством хроматической дисперсии является возможность ее компенсации путем использования в линии связи компенсаторов дисперсии- пассивных устройств, содержащих специальное оптическое волокно с отрицательным наклоном дисперсионной кривой или путем использования компенсаторов дисперсии на Брегговских решетках. Фактическое значение хроматической дисперсии позволяет определить максимальную полосу пропускания данного участка линии и правильно рассчитать параметры компенсаторов дисперсии, а также частоту их установки.

Основным методом измерения **хроматической дисперсии** является измерение методом сдвига фаз. Можно выделить следующие методы измерения:

-метод сдвига фаз;

-метод дифференциального сдвига фаз;

-метод амплитудной модуляции.

К методам измерения **поляризационной модовой дисперсии** относятся следующие:

-волновой метод – метод сканирования длины волны.

-временной (интерферометрический) метод измерения PMD.

Ниже в качестве примера рассматривается измерение оптических параметров сети FTTH.

4.4.Проведение измерения оптических параметров сети FTTH

Одной из первых задач при проектировании волоконно-оптической сети является определение оптического бюджета всей линии, на расчёт которого влияют параметры ключевых элементов сети:

- Передающее устройство – мощность передачи сигнала
- Соединение оптических волокон – качество коннекторов и сростков волокон

- Кабель – затухание оптических волокон
- Приёмное устройство – чувствительность

Ухудшение характеристик любого из приведенных выше устройств может привести к неустойчивой работе всей сети, а в некоторых случаях и к отказу. Контроль работоспособности всех элементов во время эксплуатации сети является достаточно сложной задачей. Однако, существует один элемент, контролю качества которого вообще, как правило, не придают особого внимания -коннектор. Высокая надежность сети, заложенная при проектировании строительстве, может быть перечеркнута нестабильным функционированием именно соединительных элементов в частности коннекторов. Почему важно чистить коннекторы?

ВНИМАНИЕ!

ЗАГРЯЗНЕНИЕ КОННЕКТОРА ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВОЙ ПРИЧИНОЙ ОТКАЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВСЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Многочисленные исследования, проведенные ведущими мировыми производителями оборудования, показывают, что более 75 % всех отказов оптических сетей связано с состоянием оптических соединений. И только оставшиеся 25 % обусловлены отказами оборудования, разрушением кабельной системы и прочими факторами. Этот удивительный факт объясняет возникновение неожиданных проблем, совершенно не предусмотренных при проектировании сети. Для понимания серьезности этого фактора понадобились годы эксплуатации и статистический анализ причин отказов сети. Одним из источников проблем в разъёмных соединениях является геометрия торца феррулы коннектора. Этот параметр контролируется при производстве коннекторов и, как правило, является стабильным на протяжении всего срока службы сети. Хотя в некоторых случаях контроль геометрии торца коннектора проводят при профилактических работах, однако при этом необходимо иметь достаточно дорогое оборудование. Другим источником проблем в разъёмных соединениях является загрязнение поверхностей феррул в месте стыковки коннекторов. Как известно, взвешенные частички пыли присутствуют везде. Мелкие частички пыли имеют размер от 2 до 5 мкм и могут распространяться по всей поверхности коннектора, образуя пятна и

отраженного сигнала. Каждое событие в линии (например, сварное, разъемное соединение или какие-либо дефекты оптического волокна) является причиной отражений и/или потерь мощности сигнала. Для расчета расстояния до каждого события оптический рефлектометр использует время поступления отраженного сигнала. С помощью рефлектометра можно определить значения затухания точек сращивания волокон, вносимые потери и обратное отражение на разъёмных соединениях, а также общее значение затухания обратного отражения всей сети. Однако тестирование пассивных оптических сетей с большим количеством ответвлений с помощью стандартных рефлектометров практически невозможно. В сетях PON мы фактически имеем архитектуру «точка-много точек», и каждый элемент такой сети будет отражаться на рефлектограмме. Пространственная локализация этих элементов может оказаться сильно затрудненной. Еще более сложной в анализе окажется рефлектограмма, если на сети присутствуют несколько сплиттеров, расположенных последовательно на разных расстояниях. В этом случае помочь может либо последовательный анализ кабельной инфраструктуры при отключении участков (однако, это возможно только при строительстве сети), либо специальное программное обеспечение с возможностью детального анализа рефлектограммы. Вторая проблема проявляется при обслуживании или развитии сети. В этом случае при необходимости подключения новых абонентских терминалов ONT к уже действующей сети или при ремонте какого-либо оптического ответвления «древовидной» PON-структуры появляется сложность ее тестирования, связанная с наличием в сети действующего оптического сигнала, несущего трафик работающим абонентам. Очень часто при этом невозможно остановить предоставление сервиса, что может привести к большим материальным

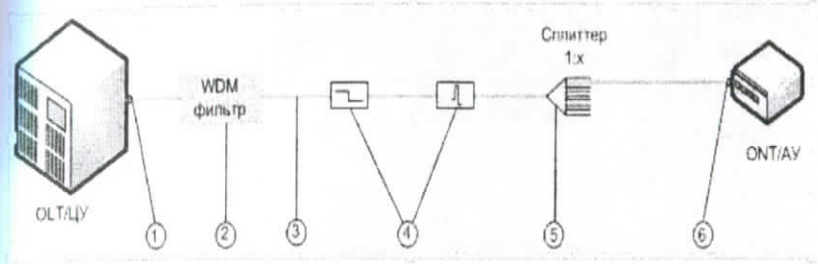
издержкам компании-оператора. В такой ситуации может помочь только внеполосное тестирование оптических кабелей с помощью рефлектометра, работающего на длине волны 1625 нм. Исходя из вышеприведенных проблем, для тестирования наилучшим решением будет использование рефлектометров, оптимизированных специально для применения на сетях PON.

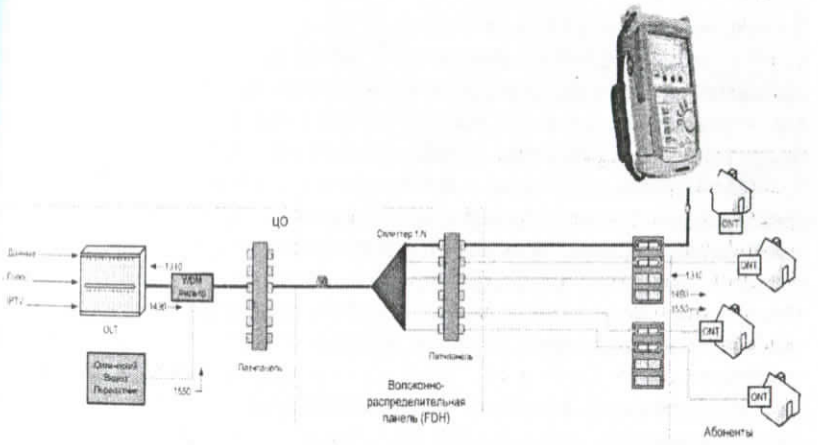
Измерения в сетях PON

Источники потерь

- Соединения OLT (сторона станции)

- WDM фильтр
- Оптическое волокно
- Соединения строительных длин (распределительная сеть)
- Сплиттер – основной источник потерь (~17дБ для 1:32)
- Соединения ONT (сторона абонента)





Проведение измерений в нескольких точках

Проверка уровня оптического сигнала, проходящего по одному волокну в различных точках сети, позволяет определить «проблемные» места(некачественное разъёмное или сварное соединение, загрязнённые и/или неисправные коннекторы) до момента активации предоставляемых услуг абоненту.

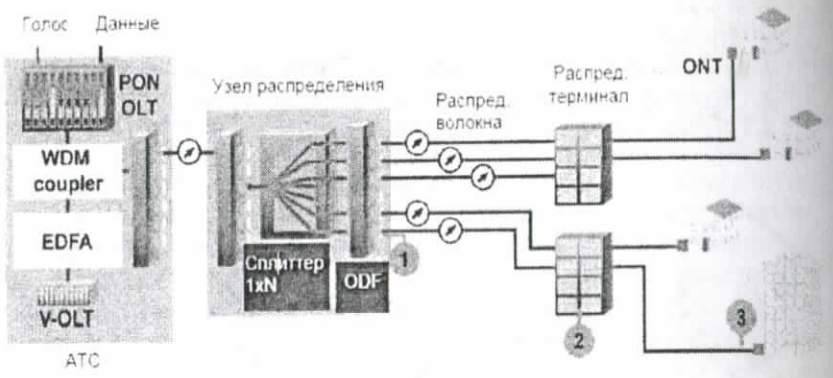


Рис.4.6. Проведение измерений в нескольких точках

Точки тестирования сети

1. Измерение уровня оптического сигнала на выходных портах сплиттера позволяет определить состояние как самого сплиттера, так и работоспособность всего участка сети от АТС до входного порта сплиттера (включая волокно линейного кабеля).
2. Измерение уровня оптического сигнала на портах распределительного терминала позволяет определить состояние распределительного волокна и оптические характеристики точки оконечивания и распределения в терминале. Как правило, увеличение затухания в распределительном терминале возникает из-за критично малого радиуса изгиба волокна при выкладке на кассете.
3. Подключение волокна к абонентскому терминалу обычно выполняется на

этапе активации услуг После подключения абонента необходимо синхронизировать устройства OLT и ONT. Измерения проводятся как на прямом, так и на обратном потоке. Поэтому для проведения измерений необходимо применять специальные измерители мощности PON, поскольку обычный измеритель мощности сможет корректно оценить только уровень сигнала прямого потока, приходящего от АТС.

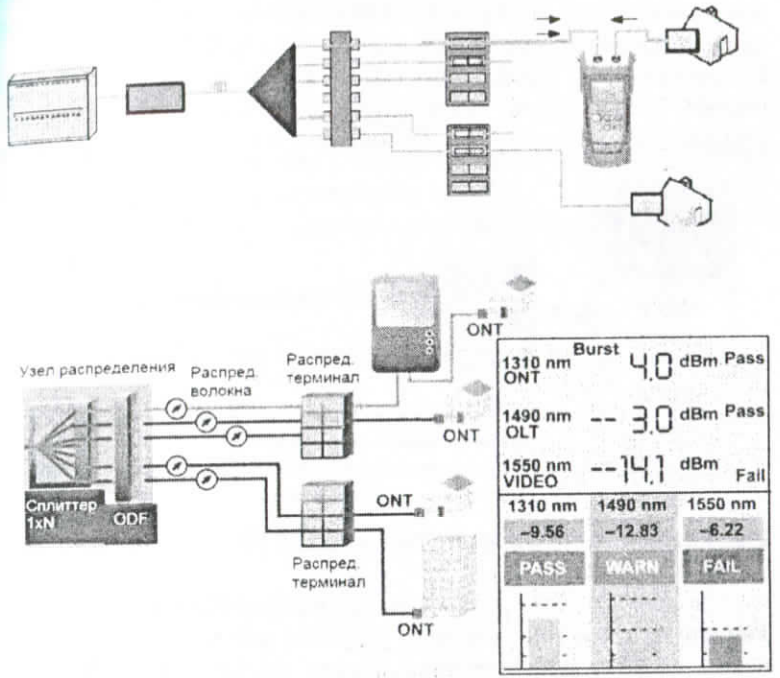


Рис.4.7.Измерения уровня оптического сигнала на трёх длинах волн
На рисунке: **PASS** – уровень сигнала в норме;**WARN** – предупреждение об опасно низком уровне сигнала;**FAIL** – очень низкий уровень сигнала

Поиск неисправностей

Измерения, связанные с поиском и устранением неисправностей в кабельной сети, включают в себя рефлектометрию на различных участках с использованием четырех длин волн:

- 1490 нм - передача голоса и данных (прямой поток) к абоненту;
- 1550 нм - дополнительный канал для передачи видеосигнала;
- 1310 нм - передача голоса и данных (прямой поток) от абонента;
- 1625/1650 нм - служебный канал для поиска неисправностей.

Так как большинство компонентов PON являются пассивными, наиболее часто проблемы в сети возникают по причине загрязнений, повреждений или плохого подключения коннекторов,

а также обрывов или макроизгибов волокон оптического кабеля. В зависимости от места возникновения эти события оказывают влияние на отдельные или на все устройства ONT в сети.
К примеру, если происходит обрыв в кабеле между OLT (АТС) и первым сплиттером, неисправность легко идентифицируется рефлектометром – все ONT (Абоненты) в сети перестают работать.

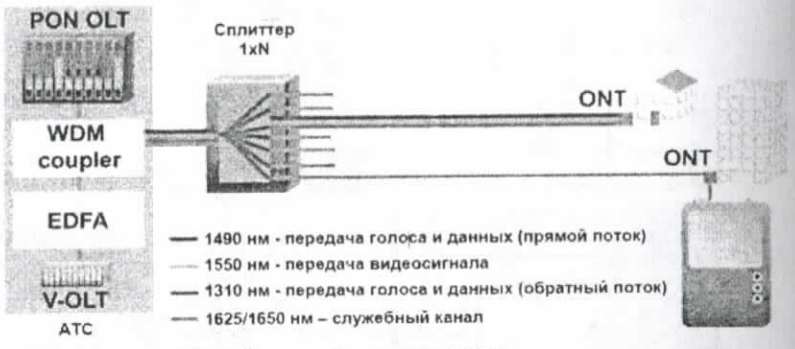


Рис.4.8. Поиск неисправностей в сетях PON

В случае, если возникает дефект(макроизгиб, загрязненный коннектор и т.п.) на одном из участков разветвленной оптической сети, испытывать проблемы будут только те ONT, которые расположены за дефектным участком. В таком случае идентифицировать источник неисправности - гораздо более сложная задача. Для этого прибор OTDR подключается к ONT и в режиме короткого импульса (3-5 нс) сканирует участок линии между ONT и сплиттером, что позволяет находить неисправности, не оказывая влияния на качество услуг, предоставляемых пользователям, подключенным к тому же сплиттеру. Поскольку измерения проводятся в режиме короткого импульса, точка расположения сплиттера будет отображаться на рефлектограмме как конец линии (из-за высокого вносимого затухания самого сплиттера). Затем сравнивается измеренное значение длины линии между ONT и сплиттером с эталонной длиной (зафиксированной на этапе активации услуг). Если длина измеренной линии не совпадает с эталонной, то возможное повреждение линии находится именно в точке, идентифицируемой рефлектометром как конец линии.

Контрольные вопросы

1. Виды измерений при строительстве ВОЛС
2. Эксплуатационные измерения ВОЛС
3. Приборы для измерений ВОЛС
4. Измерение затухания ОВ методом обратного рассеивания
5. Рефлектограмма оптического волокна
6. Требования к характеристикам оптических рефлекто метров

5.РАЗРАБОТКА И СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС

5.1. Разработка волоконно – оптической линии связи

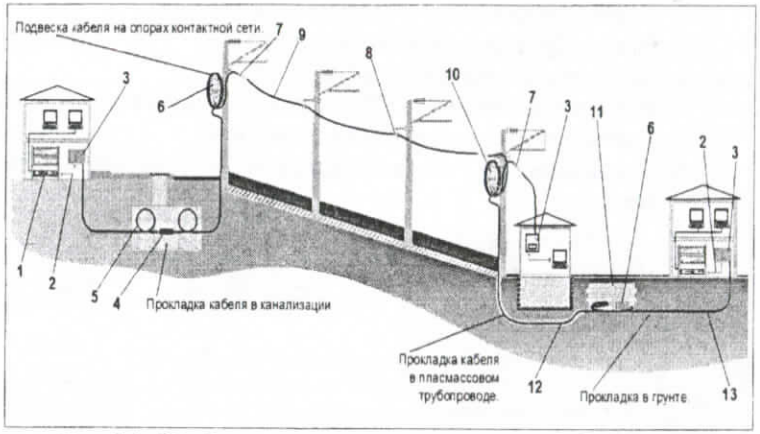


Рис.5.1.Обобщенная схемастроительства ВОЛС

1-оконечное оборудование;2 - шнур световодныйсоединительный; 3 - шкаф кроссовый оптический;4-муфта прямая соединительная; 5- оптический кабель типа ОКЗ; 6-муфта тупиковаясоединительная; 7-натяжной зажим;8-поддерживающий зажим; 9-оптический кабель типа ОКМТ; 10-муфта тупиковая разветвительная; 11 - смотровое устройство;12 - оптический кабель типа ОКМС.

Оптические кабели

Для надежной работы оптическихволокон в реальных условияхокружающей среды их помещают вкабельные конструкции, которыезащищают их при прокладке ифункционировании. В отличие отмедных кабелей оптическим кабеляммедных кабелей оптическим кабелямнужны силовые элементы дляпроталкивающей нагрузки и прочныевторичные покрытия для защитыволокон от внешних ударов,температурного расширения и сжатия. Эти специальные требования удовлетво ряются использованием стальных или неметаллическихсиловых элементов, помещаемых всердечник кабеля, его защитное вторичные покрытия для защитытемпературного расширения и сжатияпокрытие либо в оба эти местаодновременно.Существует большое количествотипов ВОК в зависимости отназначения, условий прокладки иконструкции составляющих элементовниже

рассмотрим для примеранаиболее часто используемые в эксплуатации типы кабелей и их особенности.

По назначению все кабели можно разделить на три категории:
- наружной прокладки;
- внутренней прокладки;
- специальные.

Кабели наружной прокладки.

Кабели наружной прокладки могут применяться практически на любых (сельских, городских, зоновых и магистральных) линиях связи.

По условию прокладки эти кабели в свою очередь можно разделить на:
- воздушные;
- подземные;
- подводные.

Кабели воздушной подвески **подвешиваются на опорах различного типа и в делятся на кабели:** - самонесущие **свою очередь** кабели – с несущим тросом или без него, подвешиваемые на опорах различного типа, в том числе на опорах ЛЭП и контактной сети железных дорог (типа ОКМС);

- прикрепляемые кабели, которые крепятся к несущему проводу с помощью диэлектрических шнуров или ленты, или же с помощью специальных зажимов, или спиралевидных отрезков металлической проволоки;

- навиваемые кабели – навиваются вокруг несущего, например, фазового провода или провода заземления (троса грозозащиты);

- встраиваемые в трос грозозащиты.

Кабели подземной прокладки в свою очередь делятся на:

- кабели, прокладываемые в кабельной канализации или туннелях (типа ОКЗ);

- кабели, закапываемые в грунт (типа ДАУ);

- кабели, прокладываемые в полиэтиленовых трубах высокой плотности (типа ОКМТ).

Подводные кабелиделятся в свою очередь на:

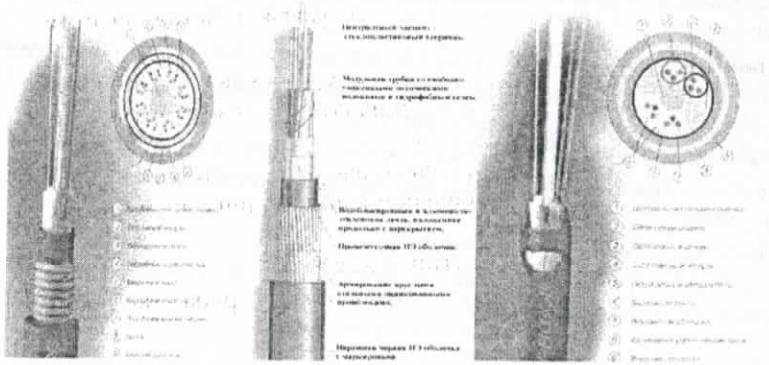
- кабели, укладываемые на дно несудоходных рек, неглубоких озер и болот (используются при прохождении водных преград небольшой длины);
- кабели, укладываемые на дно морей и океанов (что может означать не только укладку на дно, но и закрепление на определенной глубине, или закапывание в донный грунт на определенную глубину).

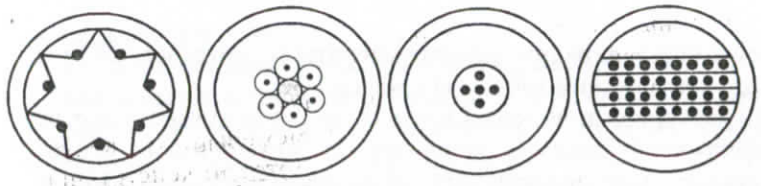
Конструкции оптических кабелей. В настоящее время известно большое количество конструкций оптических кабелей внешней прокладки, полную совокупность которых можно разделить на четыре группы.

Основой кабелей первой группы является **профилированный сердечник**, в пазах или внутренних полостях которого уложены волоконные световоды.

Кабели второй группы имеют традиционную повивную скрутку, которая в подавляющем большинстве случаев образована пластмассовыми трубками, получившими название **модулей**. В каждом модуле может размещаться от одного до 12 волокон

ОКЗ **ДАУ** **ОКМТ**





а) б) в) г)

а)Кабели с профилированным модулем

б)Кабелимодульной конструкции

в)Кабели с центральным сердечником

г)Ленточные кабели

Рис.5.2 Различные типы модулей

Кабели с **центральным модулем** могут рассматриваться как разновидность кабелей модульной конструкции и содержат одну большую трубку для укладки волокон, размещаемую по оси конструкции.

Кабели **ленточного** типа реализованы на основе сердечника в виде одной или нескольких лент, в толще которых располагаются отдельные световоды.

Кабели модульной конструкции в тех или иных конструктивных разновидностях имеют, как правило, емкость не более 100 волокон и в настоящее время занимают доминирующее положение в общем объеме выпуска кабельной продукции. Это объясняется хорошей защитой отдельных волокон от механических и климатических воздействий, а также простотой и удобством разделки.

Кабели с профилированным сердечником уступают кабелям модульной конструкции по уровню защиты световодов от механических воздействий и в настоящее время почти полностью вытеснены из практического использования.

Ленточные кабели обеспечивают максимальное преимущество над конструкциями других типов при большом (до нескольких сотен) количестве волокон и поэтому используются главным образом при построении городских телекоммуникационных сетей.

В настоящее время применяются две конструктивные разновидности оптических кабелей: кабели, содержащие металлические элементы и полностью диэлектрические кабели. К достоинству первых относится более высокая механическая прочность и влагоустойчивость, кабели второго типа менее

подвержены влиянию электромагнитных воздействий и имеют несколько меньшие габариты и массу.

Сердечник оптического кабеля из–за необходимости обеспечения эффективной защиты световодов от механических воздействий принципиально представляет собой пустотелую конструкцию. Это ставит перед разработчиками проблему обеспечения его влагостойкости. Малый внешний диаметр делает неэффективным содержание под избыточным воздушным давлением.

Для получения необходимой влагостойкости оптического кабеля необходимо решить задачи обеспечения его продольной и поперечной герметизации. Основным средством обеспечения продольной герметизации является гидрофобный гель, который заполняет пустоты кабельного сердечника. Поперечная герметизация кабеля задается наружными оболочками. В некоторых кабелях дополнительно применяется слой целлюлозной бумаги, которая при попадании на нее влаги разбухает и герметизирует небольшие проколы оболочки.

Рабочий температурный диапазон кабелей наружной прокладки обычно составляет для:

- отечественных кабелей от –40 до +50^{0}C;
- импортных кабелей от –40 до +70^{0}C.

Существуют специальные морозостойкие кабели, нижняя рабочая температура которых достигает –60^{0}C.

Кабели внутренней прокладки.

Межэтажная и поэтажная разводка внутри зданий осуществляется внутриобъектовым оптическим кабелем, отличающимся от кабеля внешней прокладки повышенной гибкостью и улучшенными массогабаритными показателями за счет использования в конструкции облегченных упрочняющих покрытий, а также отсутствием элементов защиты от влаги. Световоды в кабелях этого класса снабжаются буферным покрытием толщиной 0,9мм, которое позволяет осуществлять непосредственную установку коннекторов. В конструкции внутриобъектовых кабелей используются материалы, образующие густой дым под воздействием высокой температуры и не выделяющие при этом удушливые галогенсодержащие газы.

Рабочая температура внутриобъектовых кабелей обычно от –20 до +70^{0}C.

Специальные кабели.

К специальным кабелям относятся следующие кабели:

-одноволоконные полностью диэлектрические кабели в тонкой специальной оболочке для использования в сети внутренней коммутации различных спецустройств и приборов;

- многоволоконные полностью диэлектрические кабели, используемые для внутренних шин и компьютерных сетей.

Система маркировки оптических кабелей.

Производители волоконно - оптических кабелей придерживаются индивидуальной системы маркировки своей продукции, основанной на рекомендации МЭК 794 – 1. Обычно марка представляет собой буквенно–цифровой индекс, в котором тем или иным способом зашифрованы сведения о конструкции кабеля и его основных характеристиках. Этот индекс вместе с метровыми метками наносится на внешнюю защитную оболочку.

Кодировка и нумерация световодов оптических кабелей.

Нумерация световодов оптических кабелей производится в соответствии с их цветовой кодировкой и позволяет существенно упростить процедуру укладки оконечных разделочных устройств (муфт и кроссов), а также последующее тестирование и паспортизацию трассы.

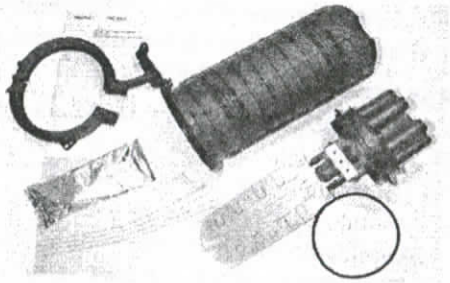
Присваивание волокнам номеров осуществляется исходя из цвета модулей, которые имеют различную окраску. Обычно отечественный кабель имеет два цветных модуля, один из которых чаще всего бывает красного цвета. Модули, как правило, нумеруются следующим образом: 1 – красный, 2 – цветной, далее в порядке возрастания от красного в сторону цветного.

При наличии в модуле только одного световода его номер совпадает с номером модуля. При двух или более волокнах присваивание номеров световодов производится с привлечением цветов буферных покрытий 250мкм. Какой либо системы в выборе цветовой окраски отдельных волокон не имеется, поэтому нумерация выполняется в соответствии паспорта на данный кабель.

2.Муфты.

Кабельные муфты предназначены в основном для защиты сростков при соединении, ответвлении и распределении кабелей связи. Они также обеспечивают механическую и электрическую

непрерывность кабеля так, как будто бы он не прерывался в точке сращивания, независимо от способа прокладки – непосредственно в земле (типа МТОК), в кабельной канализации, на воздушных линиях (типа FOSC).МТОК FOSC

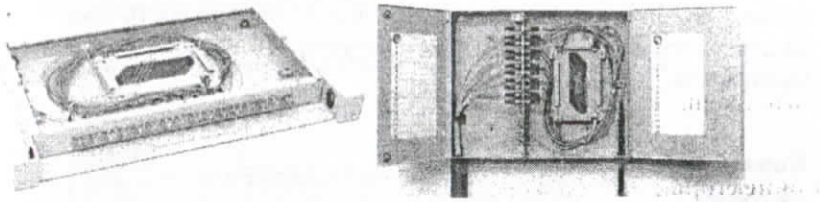


Кроме этого муфты для ВОК должны обеспечивать упорядоченное размещение сростков в соединительных кассетах и хранение резервных модулей, а также не допускать увеличение оптических потерь из-за малого радиуса изгиба при укладке волокна и модулей внутри муфты.

Шкафы кроссовые оптические

Шкафы кроссовые оптические являются промежуточным звеном между кабелями внешней прокладки и переходными кабелями, ведущими к оптоэлектронному оборудованию. Шкафы через свои коммутационные панели служат точками доступа для проверки и переконфигурации волокон внешних прокладок. Волокна оканчиваются либо непосредственно в коннекторах, установленных в полевых условиях, либо сращиваются волоконными переходниками с коннектором на конце (Pig – Tail).Сростки хранятся в соединительных кассетах. В любом случае волокна внешней прокладки доходят до коннекторной панели, где к ним есть свободный доступ для тестирования и подсоединения к оптоэлектронному оборудованию. Существуют кроссовые шкафы разнообразных размеров зависящих от числа волокон и желаемого числа сростков.

ШКО С 19 SM 24 FC – ***стоечный в стойку 19 и 23 дюйма.***
ШКО Н STSM 24 FC – ***настенный***



4. Шнуры световодные соединительные (ШСС).

Патчкорд (Patch-Cord) – отрезок одно- или двух-волоконного оптического кабеля с двух сторон оконцованный разъемами.

Пигтейл (Pig-Tail) – отрезок одно- или двух-волоконного оптического кабеля с одной стороны оконцованный разъемом.

Типы кабелей, используемых для производства патчкордов и пигтейлов:

Симплекс **Дуплекс**

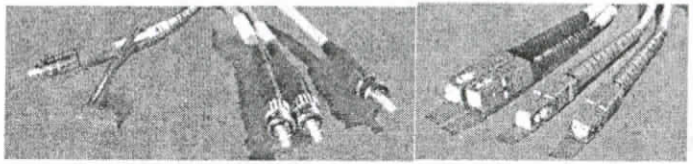
5.2. Типы используемых оптических коннекторов и адаптеров.

Оптические волокна в кабеле обычно оконцовываются оптическими коннекторами и в совокупности с адаптерами образуют интерфейс между ВОК и активными передающими, приемными или другими оптическими устройствами. Кроме того,

такое разъемное соединение обеспечивает возможность простого и быстрого изменения схемы и конфигурации волоконно-оптической магистрали.

Коннекторы:

FCSTSC



Адаптеры:

FC **SC** **ST**

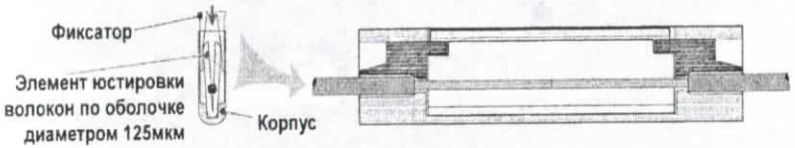
5.3. Механическое соединение оптических волокон.

Различают *механические* и *сварные* соединения ОВ. В свою очередь, *механические* соединения подразделяются на *разъемные* и *неразъемные*.

Разъемные соединения организуются при помощи оптических коннекто ров и адапторов. Механические *неразъемные* соединения используются в основном в сетях многомодовыми волокнами или для коротких расстояний. Часто они применяются для создания ***временных*** соединений при выполнении ремонтных работ или измерений. Неразъемные механические соединители осуществляют несплошное соединение волокон и чаще всего, реализуются при помощи устройств с V-образной канавкой. Разницу показателей преломления воздуха и стекла в точке соединения волокон обычно выравнивает иммерсионная жидкость, предварительно вводимая в соединители в заводских условиях.

Одним из таких соединителей является устройство фирмы 3М – **FibrLock**.

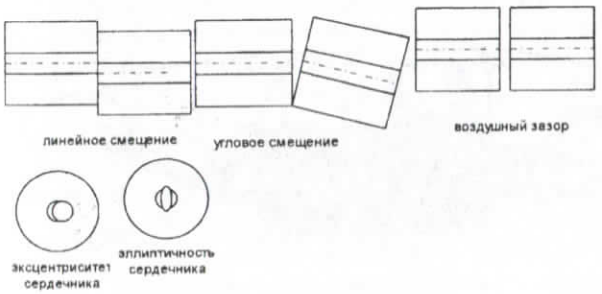
Установка оптических волокон.



Фиксация оптических волокон

Вносимое коннектором затухание определяется:

Внутренними факторами,которые задаются допусками на геометрические параметры световодов эксцентриситетом и эллиптичностью сердечника состыкованных световодов.

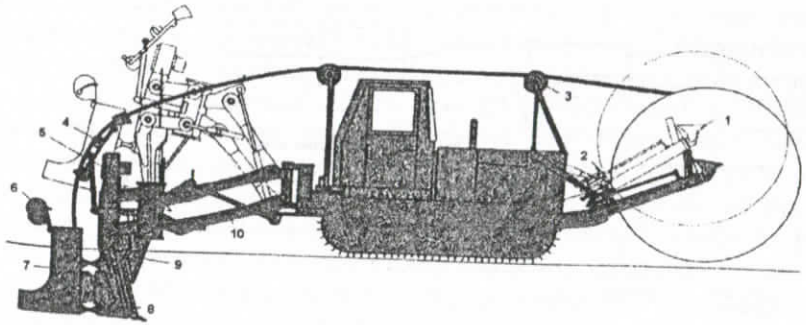


5.4.Строительство ВОЛС. Методы прокладки оптических кабелей.

Рис. 5.3. Прокладка кабеля вканалах кабельной канализации

Прокладка оптических кабелей в грунт

Основным, наиболее экономичным **методом прокладки** ОК непосредственно **в грунт**, обеспечивающим наиболее высокую степень механизации и скорость прокладки, **является прокладка кабелеукладчиком** (рис 5.2).



.Рис 5.4 Кабелеукладчик:

1-держатель барабана; 2-тормоз барабана; 3,4-направляющий ролик;5-вибратор; 6-кассета для сигнальной ленты; 7-кассета кабельного ножа; 8-режущая кромка кабельного ножа; 9-режущая кромка кабельного ножа; 10-привод подъема кабельного ножа

На определенных участках трассы могут применяться и другие технологии – в частности, при пересечениях автомобильных и железных дорог, глубоких оврагов и болот, рек, скальных участков. Для ОК с металлическими бронепокровами необходимо соблюдение мер по защите ОК от грозовых повреждений и от влияний электрифицированных железных дорог и линий электропередачи на участках сближений с этими объектами. На особо опасных с точки зрения электромагнитных воздействий участках трассы предусматривается прокладка диэлектрических ОК.

Прокладка ОК с помощью кабелеукладчика предусматривается обеспечение плавного прохода ОК через кассету кабельного ножа с соблюдением допустимого радиуса его изгиба, а также нормируемой (1,2 м) глубины прокладки. Кабелеукладчики используют на спрямленных и протяженных участках трассы, при отсутствии частых пересечений с подземными коммуникациями.

Прокладка ОК в траншею выполняется при множественных пресечениях с подземными коммуникациями или другими препятствиями, а также при возможных повреждениях кабелеукладчиком дренажных устройств. Траншеи разрабатываются траншеекопателями, цепными или одноковшовыми экскаваторами, а при небольших объемах работ и в стесненных условиях – вручную. По окончании укладки ОК, траншею засыпают вынутым грунтом, который затем уплотняют.

На участке пересечений с автомобильными и железными дорогами ОК укладывают в защитные трубы, прокладываемые преимущественно закрытым способом (методом горизонтального прокола или методом управляемого бурения).

При прокладке ОК на сложных участках трассы (речные переходы, болота, овраги, участки с большим количеством подземных сооружений – газо- и нефтепроводы и др.) используется **метод горизонтально-наклонного бурения**,позволяющий осуществить бурение горизонтально-наклонной скважины (с

последующим затягиванием в нее защитной трубы и ОК) на длине 1,2 км на глубине до 30 м под пересекаемыми препятствиями.

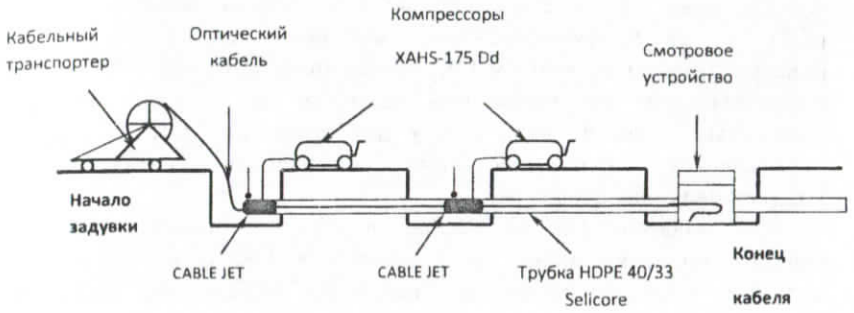
По мере широкого распространения на сетях оптических кабелей связи различного назначения на смену традиционным методам их прокладки – в каналах кабельной канализации из асбестоцементных или пластмассовых труб, непосредственно в грунт (в открытую траншею или кабелеукладчиком), подвеске на опорах ЛЭП, контактной сети или специальных опорах – приходят новые, более совершенные и технологичные методы, ускоряющие строительство, повышающие качество и надежность их работы.

Одним из таких методов является прокладка ОК, разработанная фирмой PlumettazS.A., в предварительно проложенную в земле по трассе кабеля пластмассовую трубку потоком сжатого воздуха, (рис.5.3), где используются следующие материалы и оборудование:

- пластмассовая трубка HDPE 40/33 Selicore производства DuraLine, предварительно уложенная кабелеукладчиком в грунт на глубину 1,2 м;
-кабельный транспортер производства фирмы Joko (Финляндия);
-оптический кабель марки FY02RMO 16×SLM;
-устройство для прокладки кабеля потоком воздуха Cablejet фирмы PlumettazS.A.;
-компрессоры XAHS-175 Dd фирмы AtlasCopco (Швеция);
-смотровые устройства фирмы Uponor (Швеция);
-оборудование (кабелеукладчик) для прокладки пластмассовых трубок в грунт фирмы Helmutv. Fintel (Германия).

Прокладка ОК через водную преграду предусматривает сооружение двух участок перехода (створов), разнесенных друг от друга на расстояние около 300 м. При наличии моста на участке организации речного перехода нижний створ ОК прокладывается по мосту. На береговых участках ОК речного перехода соединяются муфтовым соединением с ОК, проложенным в грунт. Для удобства доступа к муфтам стыка грунтового ОК и ОК речного перехода целесообразно размещать их и технологические запасы длин ОК внутри пункта оптического доступа типа ПОД. **Прокладка ОК на морских и прибрежных участках** (как правило, начиная с глубин 6 м) осуществляется специализированным кабельным судном. Конструкция ОК определяется его назначением и условиями прокладки, в частности,

на протяженной линии связи ОК содержит медные жилы для обеспечения дистанционного электропитания регенераторов.



5.5. Прокладка оптических кабелей через водные преграды

Во избежание применения подводных соединительных муфт небольшие водные преграды (реки, каналы, озера) следует по возможности преодолевать одной строительной длиной. Способы прокладки ОК зависят от глубины, наличия судоходства, времени года и т.д. Кабель может быть проложен кабелеукладчиком (глубина до 6 м) в подготовленную траншею с помощью специальных водолазных и плавучих средств (баржи, баркасы, лодки), а в зимнее время – со льда. Возможна прокладка ОК в кабельной канализации и полиэтиленовых трубах.

Учитывая, что при прокладке ОК на прибрежном участке имеется высокая вероятность повреждения кабеля из-за приливных воздействий и жизнедеятельности человека, к ОК для прокладки на этом участке предъявляются наиболее высокие требования по механической стойкости, а сама прокладка ОК производится преимущественно с заглублением ОК в грунт, с применением подводных кабелеукладчиков.

Подвеска оптических кабелей

Для подвески на опорах воздушных линий связи, опорах ЛЭП и опорах контактной сети и автоблокировки железных дорог преимущественно используются диэлектрические самонесущие ОК, с целью обеспечения их стойкости к электромагнитным воздействиям (гроза, стационарные и аварийные режимы работы ЛЭП и электрофицированных железных дорог). Основным конструктивным элементом ОК, обеспечивающим его стойкость к растягивающим нагрузкам при подвеске на опорах, являются арамидные нити, в связи с чем для крепления ОК на опорах используется преимущественно спиральная натяжная и поддерживающая арматура.

При подвеске ОК на опорах воздушных линий связи как вариант подвески может использоваться ОК с креплением к внешним несущим элементам (например, отдельному несущему тросу).

Альтернативой диэлектрическому ОК при подвеске ОК на ЛЭП высокого напряжения (110 кВ и выше) является оптический кабель, встроенный в грозотрос (ОКГТ), выполняющий одновременно функции и оптического кабеля для передачи информации, и грозозащитного троса линии электропередачи.

Навивная технология строительства.

Уникальная навивная технология, разработанная компанией AFL-Focas (США – Великобритания) заключается в том, что существующие провода и тросы воздушной линии (ВЛ) выполняют роль несущих для тонкого и легкого оптического кабеля, который равномерно навивается на них с помощью специальной навивочной машинки. Навивочная машина – это уникальная разработкаAFL-Focas. Следуя за радиоуправляемым самодвижущимся механизмом, машинка равномерно навивает оптический кабель с шагом около 1 метра. Машинка постоянно поддерживает кабель в натянутом состоянии, т.е. кабель очень плотно натягивается на несущий провод. Этот эффект препятствует сползанию петель кабеля в центр пролета из-за вибрации и годового перепада температур. К **преимуществам** навивной технологии традиционно относят высокую скорость монтажных работ, простоту работы в сложных рельефных условиях и на спецпереходах, экономичность, возможность навивки на грозозащитный трос при любых

напряжениях линии. Среди **недостатков** данной технологии важно упомянуть следующие: зависимость системы от состояния провода/троса, на который навит кабель; малое число волокон (до 64); ограниченное применение навивки на фазу выше 110 кВ.

Важно отметить, что навивной кабель не оказывает дополнительных нагрузок на опоры и не увеличивает гололедных нагрузок. Оптический навивной кабель выпускается в нескольких модификациях, в том числе и с повышенной баллистической стойкостью. Кабель с баллистической защитой имеет сдвоенную наружную оболочку, которая препятствует проникновению дроби внутрь и нарушению целостности кабеля.

Технология навивки рекомендуется для строительства как магистральных ВОЛС, при необходимости быстрого ввода в эксплуатацию и транспортных сетей, так и сетей доступа к ЦСП, Для магистральных сетей рекомендуются кольцевые структуры.

Технология ОКГТ (оптический грозотрос).

Наиболее распространенным способом строительства ВОЛС – ВЛ является способ замены существующего грозозащитного троса на новый грозотрос со встроенным в него оптическим кабелем.

При выборе данной технологии строительства особое внимание необходимо уделять токам короткого замыкания, поскольку оптическое волокно не терпит высоких температур, до которых разогревает короткое замыкание трос. Поэтому ОКГТ, как правило, толще стандартного грозотроса не только из-за модулей с оптическим волокном, но и из-за необходимости применения алюминиевых сплавов с высокой удельной проводимостью для снижения токов короткого замыкания. Увеличение диаметра ОКГТ приводит к увеличению гололедных и ветровых нагрузок, что, в свою очередь, требует перерасчета прочности тросостоек. Однако ОКГТ является наиболее предпочтительной технологией при замене троса или строительстве новых линий, а также наиболее долговечен. К другим **преимуществам** ОКГТ можно отнести: высокую надежность; отсутствие ограничений по напряжению ВЛ; возможность монтажа при низких температурах (до -30С°). К **недостаткам** ОКГТ относят следующие: высокая стоимость; невозможность монтажа под напряжением.

Технология ОКСН (оптический самонесущий кабель).

Оптический самонесущий кабель принципиально схож с кабелями для подвески по опорам контактной сети железных дорог и воздушным линиям связи. Существенное отличие состоит, во-первых, в длине пролетов и, во-вторых, в наведенном потенциале на оболочке ОКСН. В первом случае важна подклейка несущих арамидных нитей к внутренней и внешней полиэтиленовым оболочкам кабеля. Во втором ограничивается применение ОКСН на ВЛ напряжением 110 кВ, а выше только с использованием специальных трекингостойких компаундов во внешней оболочке. Среди **преимуществ** ОКСН также отмечают: возможность разделить собственность – кабель не используется как часть энергосистемы; ОКСН не может быть поврежден молнией или токами короткого замыкания. Среди **недостатков** важны следующие: существенное увеличение нагрузки на опоры; низкая надежность.

Прокладка городских кабелей

При прокладке ОК на городском участке сети, как правило, используется имеющаяся инфраструктура (кабельная канализация, коллекторы, туннели).

Для прокладки в кабельной канализации, учитывая вероятность повреждений ОК грызунами, наиболее целесообразно использовать ОК с броней из стальной гофрированной ленты или же, при наличии повышенных требований по стойкости к электромагнитным воздействиям (например, на территории электроподстанций), диэлектрических ОК с броней из стеклопластиковых стержней.

Прокладка ОК в специальные (защитные пластмассовые) трубы.

Защитная полиэтиленовая труба (ЗПТ) – современная альтернатива традиционной асбестоцементной трубе кабельной канализации. ЗПТ может быть использована как для увеличения емкости традиционной кабельной канализации путем прокладки ее в каналы существующей кабельной канализации, так и для прокладки непосредственно в грунт, фактически выполняя функции междугородной кабельной канализации.

ЗПТ представляет собой трубу диаметром 25 – 63мм (строительная длина в среднем 2 км) из полиэтилена высокой плотности с имеющимся на внутренней поверхности антифрикционным покрытием. Нормируемый срок службы ЗПТ составляет не менее 50 лет.

Применение ЗПТ при сооружении волоконно-оптических линий передачи позволяет, однократно выполнив прокладку нескольких каналов ЗПТ, эффективно затем ее использовать, проводя последующую прокладку ОК в резервные каналы ЗПТ или же производя по мере необходимости замену ОК без необходимости проведения земляных работ.

Учитывая, что ЗПТ обеспечивает эффективную механическую защиту, и, защиту от грызунов прокладываемого в нее ОК, к кабелям не предъявляются высокие требования по механическим характеристикам. Поэтому для прокладки в ЗПТ наиболее целесообразно использовать недорогие легкие (небронированные) ОК, в том числе диэлектрические.

Прокладка ОК в ЗПТ, как правило, осуществляется методом пневмопрокладки с использованием специализированного оборудования, обеспечивающим возможность «задувки» в ЗПТ максимальных строительных длин ОК (4…6 км), без необходимости их разрезания и перемотки на участках пересечения с подземными сооружениями.

Волоконно-оптические микрокабельные системы.

Бурное развитие телекоммуникационных услуг требует существенного увеличения пропускной способности линий связи. Однако операторы часто сталкиваются с ситуацией, когда прокладка дополнительных линий традиционными методами требует много времени или невозможна в силу плохого технического состояния подземных систем коммуникаций

Фирма SiemensAG предложила принципиально новый подход к прокладке ВОЛС посредством нового поколения кабеля — MicroCablingSystems (MCS). Его использование обеспечивает не только минимальные объемы и кратчайшие сроки выполнения работ, но и полную совместимость с существующими волоконно-оптическими сетями.

Кабель MCS выпускается в трех исполнениях:

-для прокладки в верхней части дорожного покрытия/тротуара**(MCS-Road);**

-в системах канализации **(MCS-Drain);**

-для прокладки в трубках канализации роботом **(MCS-Robot).** Главной особенностью MCS-Road является принципиально новый способ его прокладки. В верхней части дорожного покрытия или тротуара у бордюрного камня, с помощью стандартной строительной фрезы пропиливают канавку глубиной от 4 до 10 см и шириной до 1,5 см. После этого струей воды или сжатого воздуха очищают ее от мелких обломков асфальта или бетона. В зависимости от решаемых задач в нее укладывается от одного до трех кабелей, которые фиксируются резиновым проводом, после чего траншея заливается битумом (рис. 21.3).Стандартные строительные длины для MCS-Road составляют 2, 4, 20 и 50 км, хотя по специальному заказу возможна комплектация любой длины.Важным компонентом MCS-Road является муфта из нержавеющей стали. Муфта выпускается в исполнениях U-60 и U-144 (для термоусадки 60 и 144 световодов соответственно).

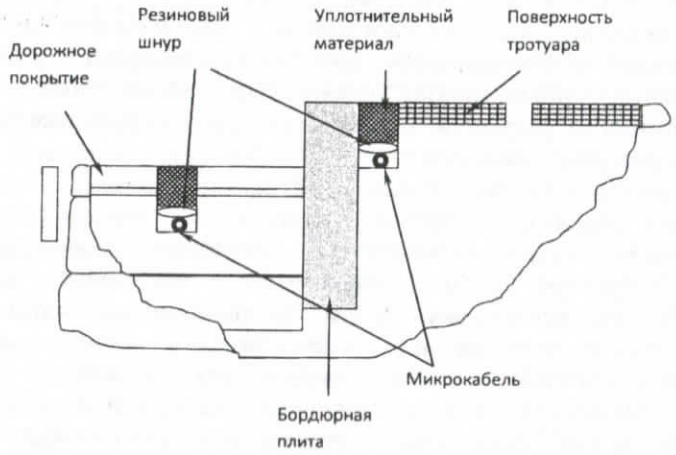


Рис. 5.6. Вариант прокладки микрокабеля

Контрольные вопросы

1. Прокладка оптического кабеля кабелеукладчиком
2. Прокладка оптического кабеля ручным способом
3. Прокладка оптического кабеля под водой
4. Подвеска оптических кабелей
5. Прокладка ОК в городской телефонной канализации
6. Микрокабельные системы
7. Пневмозадувка оптических кабелей

6.ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ЛИНЕЙНЫМ ТРАКТАМ

6.1. Состояние и перспективы развития ВОЛС

Мировая практика показывает три уровня рентабельности услуг связи:

- высокорентабельная услуга – международная и междугородная телефонная связь;
- средней рентабельности услуга – городская телефонная связь;
- в основном убыточные услуги – сельской телефонной связи.

До 1992 года в Узбекистане весь спектр телекоммуникационных услуг (телефония, телеграфия, передача данных, арендование каналов) предоставлялся монопольной государственной компанией – Министерством связи, вся международная связи осуществлялась через Московскую международную станцию по 13 аналоговым телефонным каналам. Телефонная сеть полностью состояла из аналоговых систем коммутации с небольшой долей (5 … 10%) цифровых систем передачи.

Исходя из сложившихся трех уровней рентабельности услуг связи, в первую очередь необходимо было осуществлять меры по развитию и реконструкции междугородной и международной телефонной связи, а получаемую в результате этого прибыль использовать на развитие местной телефонной связи.Для обеспечения развития телекоммуникации в республике, увеличения количества и качества услуг населению 1 августа 1995 года Кабинетом Министров Республики Узбекистан была принята «Национальная программа реконструкции и развития телекоммуникационной сети Республики Узбекистан на период до 2010 года».Национальная программа предусматривала три этапа реализации.

На ПЕРВОМ ЭТАПЕ до 2000 года был осуществлен ввод в городах Ташкент, Нукус и областных центров междугородних городских телефонных станций нового поколения.

ВТОРОЙ ЭТАП(2001-2005гг) характеризовался работой по цифровизации местных телефонных сетей в городах и райцентрах Республики, расширены масштабы внедрения современных АТС в сельской местности, а также применения радиотелефонной связи на селе.

ТРЕТИЙ ЭТАП (2006-2010гг) предусматривает завершение технических и организационных работ по созданию цифровой телекоммуникационной сети Республики на новой базе – цифровых телефонных станциях и системах передачи, организуемых на основе волоконно-оптического кабеля.

До 1992 года в Узбекистане вся магистральная и внутризоновая первичная сеть была организована на основе медных кабельных и воздушных линий связи. Создание цифровой транспортной сети началось со строительства Транс-Азиатско-Европейской волоконно-оптической линии связи (ТАЕ ВОЛС) Шанхай – Франкфурт-на-Майне, соединившей 12 стран: Китай, Киргизию, Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Иран, Турцию, Украину, Беларусь, Россию, Польшу, Германию.

26 ноября 1997 года был введен в эксплуатацию национальный сегмент Узбекистана ТАЕ ВОЛС, протяженностью 830 км., на котором было проложено 885 км. 18-ти волоконного оптического кабеля фирмы «Siemens».

Магистраль проходит на свет протяжении через шесть областей – Бухарскую,

Кашкадарьинскую,Самаркандскую,Джизакскую,Сырдарьинскую и Ташкентскую области, обеспечивая связью крупные города, такие как Бухара, Навои, Карши, Термез, Самарканд, Джизак, Гулистан, Ташкент. На ответвлениях от основного тракта в большинстве случаев используется синхронные системы уровня STM-1 со скоростью передачи 155 Мбит/с.В настоящее время в республике продолжаются работы по реконструкции и расширении сети телекоммуникации на основе инвестиционных проектов. Существующая телекоммуникационная сеть представляет собой композицию волоконно-оптических и радиорелейных линий связи. Основная тенденция развития телекоммуникаций Узбекистана – расширение международной деятельности. Компания «Узбектелеком» ведет активную работу с зарубежными компаниями и Администрациями связи, Региональным содружеством в области связи (РСС), Советом операторов РСС, Международным союзом электросвязи («Интелсат»). При налаживании новых контактов и поддержке уже установленных «Узбектелеком»придерживается политики долгосрочных партнерских взаимоотношений и обеспечения экономической целесообразности сотрудничества.

Основой высокоскоростных транспортных сетей являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Возможность наращивания скоростей передачи в уже проложенном ОК- одна из причин интенсивного строительства ВОЛС. Системы передачи, использующие в качестве среды распространения сигналов оптические линейные тракты называются волоконно-оптическими системами связи (ВОСП).ВОСП обладает рядом преимуществ, основными из которых являются: широкая полоса пропускания, позволяющая организовать по одному волоконно-оптическому тракту необходимое число каналов с дальнейшим их наращиванием, а также предоставлять пользователю наряду с телефонной связью любые виды современных услуг связи (телефакс, широкополосное радиовещание, телевидение, Интернет и др.). ВОСП предназначены главным образом для передачи цифровых сигналов, однако, есть ряд случаев, когда может применяться аналоговая передача. Это имеет место, например, при видео передаче в сетях кабельного телевидения в связи с защитой от прерывания. Поэтому в настоящее время ВОСП строятся в основном как цифровые системы передачи, где в качестве оконечного каналообразующего оборудования используются системы передачи плезиохронной цифровой иерархии PDH (MUX2M, PCM-30, NE6012) или синхронной цифровой иерархии SDH (ТМ, АДМ соответствующего уровня иерархии STM-N). Это объясняется существенным преимуществами цифровых систем передачи: высокой помехоустойчивостью, малой зависимостью качества передачи от длины линейного тракта, высокими технико-экономическими показателями(величина коэффициента ошибок, скорость передачи информации, длина регенерационного участка).Большая часть существующих оптических линейных трактов проложена с использованием SSF-волокна (как самого старого и массового типа ОВ), соответствующего Рекомендации G.652 ITU-T. ВОСП на основе SSF-волокна строятся как двухволоконные однополосные однокабельные (рис. 6.1). На передающей станции первичные сигналы в электрической форме поступают на аппаратуру цифровой системы передачи ЦСП, с выхода которой групповой N-канальный цифровой сигнал подается в оборудование сопряжения ОС (преобразователь кода). В ОС электрический сигнал преобразуется в форму, целесообразную для передачи по линейному тракту. Оптический передатчик Опер

преобразует электрический сигнал путем модуляции оптической несущей в оптический сигнал, передаваемый по оптическому волокну. На приемной станции осуществляется обратное преобразование принимаемого оптического сигнала в N первичных цифровых электрических сигналов. Для этого последовательно используются оптический приемник, устройство сопряжения (преобразователь кода) и оконечная аппаратура типовой ЦСП.

сете

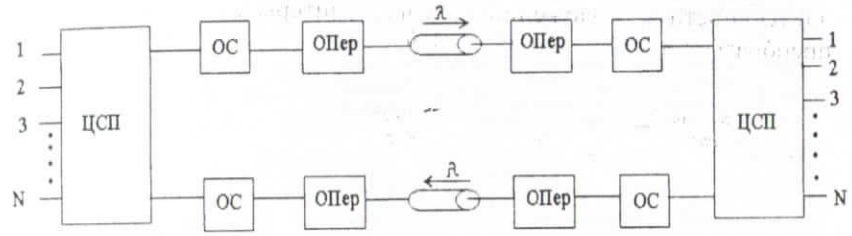


Рис.6.1. Двухволоконная однополосная однокабельная система организации связи

При таком построении передача и прием оптического сигнала ведутся по двум волокнам и осуществляются на одной длине волны λ. Каждое ОВ является эквивалентом двухпроводной физической цепи. Так как взаимные влияния между ОВ кабеля практически отсутствуют, тракты передачи и приема различных систем организуются по одному кабелю, т.е. ВОСП является **однокабельной**.

Оптические сигналы, распространяющиеся по ОВ, затухают вследствие потерь в самом кабеле, а также потерь в соединениях строительных длин и оконечных разъемных соединителях в местах подключения аппаратуры. Кроме того, дисперсия импульсных сигналов увеличивает шумы в канале передачи и вызывает кодовые ошибки при приеме. Поэтому, если приемная и передающая станции удалены на большое расстояние друг от друга, может потребоваться дополнительно одно или несколько промежуточных ретрансляционных устройств. В качестве таких устройств используются линейные регенераторы и оптические усилители.

Линейный регенератор (рис 6.2,а) восстанавливает первоначальную форму оптического сигнала. Поскольку при существующей элементной базе компенсацию затухания и коррекцию искажения целесообразно производить с электрическими сигналами, линейный регенератор состоит из оптического приемника, электронного регенератора и оптического передатчика. Входной оптический сигнал сначала преобразуется в электрическую форму, усиливается, корректируется и восстанавливается по форме , длительности и положении тактовых интервалов, а затем вновь преобразуется в оптический сигнал.

Рис 6.2. Схемы ретрансляционных устройств: а- линейный генератор;
б- оптический усилитель

Оптический усилитель (рис 6.2,б) в отличие от регенератора не осуществляет оптоэлектронного преобразования, а выполняет прямое усиление оптического сигнала. Первоначальная форма сигнала при этом не восстанавливается, что является существенным недостатком оптического усилителя. К достоинствам двухволоконной однополосной схемы организации связи следует отнести однотипность оборудования передачи и приема оконечных и промежуточных станций. Существенным недостатком является весьма низкий коэффициент использования пропускной способности ОВ. Часто оказывается, что возможности расширения пропускной способности ВОЛС исчерпываются значительно быстрее, чем предполагалось при их проектировании. Стандартным в этой ситуации является использование двух подходов: интенсивного и экстенсивного расширения возможностей оптического линейного тракта.При интенсивном подходе емкость системы увеличивается за счет перехода на новый уровень

иерархии систем SDH, двигаясь по цепочке: STM-1=>STM-4=>STM-16=>STM-64. Этот способ иногда бывает достаточно дорогим, если учесть, что для ряда систем он сопровождается полной заменой мультиплексоров, а не просто сменой карт. Узбекские сетевые операторы приступают к освоению последнего звена этой цепочки и для многих это означает полную смену оборудования. Параллельно с этим используется и экстенсивный подход- прокладка нового кабеля с большим числом волокон. В случае, если нет возможности проложить новый кабель, то можно убрать резервные каналы (в ущерб надежности) и работать, удвоив емкость, без защиты на одном волокне (вместо двух) или одной паре волокон (вместо двух).В этой ситуации, частичным, но очень дешевым решением может быть использование оптических разветвителей для организации дуплексных каналов по одному волокну, позволяющих удвоить емкость ВОЛС по цене порядка 100 USD в расчете на 1 разветвитель. Некоторые компании, производящие оборудование SDH, включают это решение, как вариант возможной работы на одном ОВ. Оптические разветвители предназначены для ответвления или для объединения оптических сигналов.

ЧТО ИЗ СЕБЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗВЕТВИТЕЛЬ?

Это многополюсное устройство, в котором излучение, подаваемое на входной оптический полюс распределяется между его выходными оптическими полюсами.

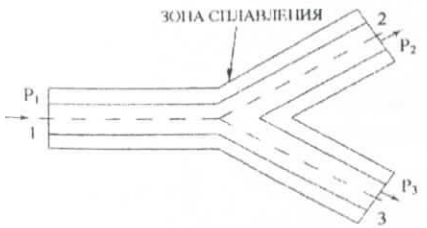


Рис 6.3 Направленный сплавной разветвитель

Такая система организации связи называется одноволоконной однополосной однокабельной. Информация во встречных направлениях по одному ОВ осуществляется по одной несущей λ. При этом в оптическом волокне, в одном направлении оптический сигнал распространяется под одним углом, в другом направлении-под другим углом (рис 23.4).При такой схеме организации связи (рис. 6.5) на оконечных станциях дополнительно устанавливаются оптические развязывающие устройства (ОРУ) в линии промежуточные корректирующие усилители.Принципиальной особенностью двухсторонних (дуплексных) систем является наличие переходных помех между информационными потоками, распространяющихся во встречных направлениях. Переходные помехи возникают за счет обратного рэлеевского рассеяния в ОВ, ответвителях, из-за отражения света от сварных стыков и разъемных соединений на концах линии.

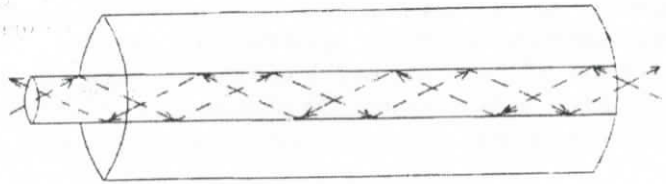


Рис. 6.4 Распространение оптического сигнала по ОВ при дуплексной связи

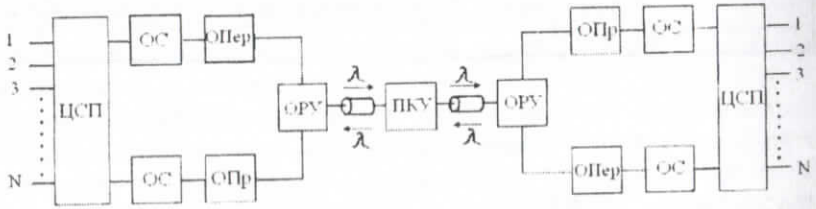


Рис6.5 Одноволоконная двухполосная однокабельная система организации связи

Наибольший интерес представляет ВОСП-СР со спектральным разделением по длинам волн (WDM). Такие системы строятся как одноволоконные многополосные однокабельные (рис.6.6). На передающей станции электрические сигналы от n систем передачи

поступают на передатчики , излучающие оптические несущие с длинами волн λ_1, λ_2, λ_3, ... λ_n. С помощью мультиплексоров с разделением по длинам волн (МРДВ) и демультиплексоров с разделением по длинам волн (ДРДВ) осуществляется их ввод в одно волокно на передаче и разделение на приеме. Таким образом, по одному ОВ организуется n спектрально разделенных оптических каналов, что значительно увеличивает коэффициент использования пропускной способности волокна (до 1024 раз). Возможность построения таких систем основывается на сравнительно слабой зависимости коэффициента затухания ОК в пределах используемого спектрального диапазона от частоты (или длины волны) оптической несущей.

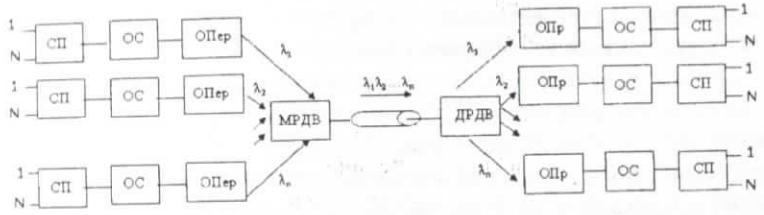


Рис.6.6.Одноволоконная многополосная однокабельная схема организации связи

Относительно высокие плотности оптической энергии в ОВ вызывают заметное проявление нелинейных эффектов. При спектральном разделении по длинам волн наиболее заметным из них является **эффектусиления вследствии комбинационного рассеяния (УВКР)**, который обусловлен резонансным взаимодействием оптических несущих с оптическими фотонами вещества волокна. В результате эффекта УВКР в ОВ наблюдается взаимодействие между оптическими сигналами различных каналов, которое выражается уменьшением мощности оптических несущих с меньшей длиной волны и увеличением за счет этого мощности оптических несущих с большими длинами волн.В высокоскоростных оптических линейных трактах, имеющих длину регенерационных участков до нескольких сотен километров при скорости передачи > 10 Гбит/с начинает проявляться эффект четырехволнового смешивания (ЧВС), который состоит в том, что на выходе ОВ, в которое введены оптические излучения на двух

длинах волн- λ_1 и λ_2 , регистрируются оптические излучения на четырех длинах волн: λ_1, λ_2, λ_3,λ_4.
Четырехволновое смешивание увеличивает затухание сигнала и снижает верность передачи.Для уменьшения нелинейных эффектов оптические линейные тракты систем WDM строятся на основе волокон, соответствующих Рекомендациям G.655 и G.656 ITU-T.Еще одним недостатком таких систем связи является их высокая стоимость (один мультиплексор WDM (МРДВ) с 8 несущими стоит в среднем 100 000 USD).

6.2 Состояние и перспективы развития ВОЛС

Мировая практика показывает три уровня рентабельности услуг связи:

- высокорентабельная услуга – международная и междугородная телефонная связь;
- средней рентабельности услуга – городская телефонная связь;
- в основном убыточные услуги – сельской телефонной связи.

До 1992 года в Узбекистане весь спектр телекоммуникационных услуг (телефония, телеграфия, передача данных, арендование каналов) предоставлялся монопольной государственной компанией – Министерством связи, вся международная связи осуществлялась через Московскую международную станцию по 13 аналоговым телефонным каналам. Телефонная сеть полностью состояла из аналоговых систем коммутации с небольшой долей (5 … 10%) цифровых систем передачи.
Исходя из сложившихся трех уровней рентабельности услуг связи, в первую очередь необходимо было осуществлять меры по развитию и реконструкции междугородной и международной телефонной связи, а получаемую в результате этого прибыль использовать на развитие местной телефонной связи.

Для обеспечения развития телекоммуникации в республике, увеличения количества и качества услуг населению 1 августа 1995 года Кабинетом Министров Республики Узбекистан была принята «Национальная программа реконструкции и развития телекоммуникационной сети Республики Узбекистан на период до 2010 года».Национальная программа предусматривала три этапа реализации.

<u>На ПЕРВОМ ЭТАПЕ до 2000 года</u> был осуществлен ввод в городах Ташкент, Нукус и областных центров междугородных городских телефонных станций нового поколения.
ВТОРОЙ ЭТАП(2001-2005гг) характеризовался работой по цифровизации местных телефонных сетей в городах и райцентрах Республики, расширены масштабы внедрения современных АТС в сельской местности, а также применения радиотелефонной связи на селе.
<u>ТРЕТИЙ ЭТАП (2006-2010гг)</u> предусматривает завершение технических и организационных работ по созданию цифровой телекоммуникационной сети Республики на новой базе – цифровых телефонных станциях и системах передачи, организуемых на основе волоконно-оптического кабеля.
До 1992 года в Узбекистане вся магистральная и внутризоновая первичная сеть была организована на основе медных кабельных и воздушных линий связи. Создание цифровой транспортной сети началось со строительства Транс-Азиатско-Европейской волоконно-оптической линии связи (ТАЕ ВОЛС) Шанхай – Франкфурт-на-Майне, соединившей 12 стран: Китай, Киргизию, Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Иран, Турцию, Украину, Беларусь, Россию, Польшу, Германию.
26 ноября 1997 года был введен в эксплуатацию национальный сегмент Узбекистана ТАЕ ВОЛС, протяженностью 830 км., на котором было проложено 885 км. 18-ти волоконного оптического кабеля фирмы «Siemens».
Магистраль проходит на свет протяжении через шесть областей – Бухарскую, Кашкадарьинскую, Самаркандскую, Джизакскую, Сырдарьинскую и Ташкентскую области, обеспечивая связью крупные города, такие как Бухара, Навои, Карши, Термез, Самарканд, Джизак, Гулистан, Ташкент. На ответвлениях от основного тракта в большинстве случаев используется синхронные системы уровня STM-1 со скоростью передачи 155 Мбит/с.
В настоящее время в республике продолжаются работы по реконструкции и расширении сети телекоммуникации на основе инвестиционных проектов. Существующая телекоммуникационная сеть представляет собой композицию волоконно-оптических и радиорелейных линий связи. Основная тенденция развития телекоммуникаций Узбекистана – расширение международной деятельности. Компания «Узбектелеком» ведет активную работу с

зарубежными компаниями и Администрациями связи, Региональным содружеством в области связи (РСС), Советом операторов РСС, Международным союзом электросвязи («Интелсат»). При налаживании новых контактов и поддержке уже установленных «Узбектелеком»придерживается политики долгосрочных партнерских взаимоотношений и обеспечения экономической целесообразности сотрудничества.

Контр вопросы

1. Двухволоконная однополосная однокабельная система организации связи
2. Что из себя представляет оптический разветвитель?
3. Распространение оптического сигнала по ов при дуплексной связи
4. Одноволоконная двухполосная однокабельная система организации связи
5. Одноволоконная многополосная однокабельная схема организации связи
6. Состояние и перспективы развития ВОЛС

56

7.ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

7.1Оптическая связь и волоконно-оптические системы

Оптическая связь (ОС) это связь в котором информация передаётся в виде световых лучей по оптическому волокну или по открытому пространству, по атмосфере. Если информация передаётся по волокну называется системой волоконно-оптической связи (ВОС), если передаётся по открытому пространству, по атмосфере называется системой открытой оптической связи (ООС).Среда систем ООС по которому передаётся информация делятся на три типа: среды атмосферной, космической и подводной связи.

Основным направлением ОС является система ВОС. Потому что в данный момент произведены волноводы с наилучшими передающими характеристиками.В системах ВОС чтобы обеспечивать путь распространения электромагнитного излучения используются специальные оптические волноводы - оптические волокна.

Сеть ВОС это сеть связи, в котором узлы соединены линиями оптической связи.

Достоинства, недостатки и области применения волоконно-оптических систем (ВОС).

Передача информации по линиям ВОС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю. Из этих достоинств системы ВОС широко применяются не только для организации телефонной связи, но для передачи сигналов телевидения, радиовещания, вычислительной техники, на транспортных средствах и в других областях.

Достоинства:

1) Широкая полоса пропускания. Это обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 1014 - 1015 Гц. Это даёт потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько тера бит в секунду. Большая полоса пропускания - это одно из наиболееважных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации.

2) Малое затухание светового сигнала в волокне. Оптическое волокно выпускаемое в настоящее время многими компаниями имеет затухание 0,2-0,3 дБ/км на длине 1,55 мкм в расчете на один километр. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяет передачу оптических сигналов по линиям ВОС без ретрансляции на 100 км и более расстояний.

3) Малый уровень шума увеличивает полосу пропускания оптического волокна.

4) Высокий уровень помехозащищённости. Поскольку оптическое волокно изготовлено из диэлектрических материалов - кварца, многокомпонентного стёкла, полимеров. Оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). А также в многоволоконных кабелях не возникает проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям.

По этим достоинством оптический кабель используется на промышленных предприятиях, в центрах управления, на транспортных средствах - самолётах и кораблях. Потому что в таких относительно небольших пространствах приходится размещать и энергетические установки, и системы автоматики и телеуправления, и разветвленную сеть связи с многочисленными абонентскими устройствами. В таком случае возникают электромагнитные и взаимные помехи. А о невосприимчивости оптического кабеля к таким помехам мы уже сказали.

5) Малый весь, объём и размер. Волоконно-оптические кабели имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями. Например, 900- парный телефонный кабель диаметром 7,5 см может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно имеет множество защитных оболочек и покрыть стальной ленточной броней, диаметр такого ВОК будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого телефонного кабеля.

Это достоинство оптического кабеля упрощает строительство линейного тракта с оптическим кабелем. Использование оптического волокна на самолётах, вертолётах и на других транспортных средствах это очень важный выигрыш волоконно-оптической связи. Например: на самолётах специально

оборудованных для выполнения задач сбора информации и управления, удаётся уменьшить массу соединительных кабелей более чем на 1 тонну.

6) Защищённость от несанкционированного доступа. Поскольку волоконно-оптические кабели вообще не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Система мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить подслушаемый канал и подать сигнал тревоги. Системы использующие интерференционные эффекты распространяемых оптических сигналов, имеют очень высокую чувствительность к колебаниям, к небольшим перепадам давления. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.

7) Пожаробезопасность. Отсутствия искрообразования оптического волокна повышается безопасность сети. В зданиях повышенного риска взрыва и пожара, на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях.

8) Экономическая эффективность. Волокно изготавливается из кварца. Основу его составляет двуокись кремния $SiO2$ широко распространенного в природе. Значить для изготовления волоконно-оптического кабеля не расходуются дефицитные цветные металлы. В современных условиях, когда уже сказывается ограниченность мировых запасов меди и свинца, переход на недефицитное сырье становится важнейшим фактором для будущего развития техники кабельной связи. В итоге стоимость оптического кабеля по отношению к медным кабелям уменьшиться.

Волоконно-оптический кабель позволяет передавать сигналы на очень большие расстояния, без ретрансляции. Использование оптического кабеля на протяженных линиях приведет к сокращению количество ретрансляторов. Это тоже уменьшает стоимость.

9) Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Тоисть затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот

процесс значительно замедлен и увеличен срок эксплуатации. Срок службы ВОК составляет примерно 25 лет.

10) Удаленное электропитание. В некоторых случаях требуется удаленное электропитание узла информационной сети. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом. Такие кабели широко используются во многих странах.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, системы ВОС имеют также и недостатки, главным образом из-за дороговизны монтажного оборудования и надежности лазерных источников излучения.

Недостатки:

1) Дороговизна элементной базы. Цена оптических передатчиков и приемников высокая. Особенно цена лазерных передатчиков довольно высокая и ограничен срок службы. Также изготовление пассивных оптических устройств (мультиплексоров, коммутаторов, аттенюаторов и др.) приводит к большим затратам.

2) Сложность монтажа и обслуживание линий ВОС. По сравнению с электрическими кабельными системами строительства, техническая эксплуатация, работа по измерению и монтажу оптических кабельных систем наиболее сложнее и требуют очень высокую квалификацию.

3) Необходимость специальной защиты волокна. Чтобы на микротрещинах не потерялись сигналы надо защитить волокно от перегрузок и изгибов. Организовать специальной защиты, с целью повышения надежности оптическое волокно при изготовлении покрывается специальным лаком на основе эпоксиакрилата. Кроме этого кабель может упрочняться специальным стальным тросом или стеклопластиковыми стержнями.

Это все увеличивает стоимость волоконно-оптического кабеля. Эти недостатки частично или полностью будут снижены при дальнейшем развитии технологии ВОС.

7.2. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи

В системах ОС происходит передача и обработка информации в виде световых или оптических сигналов. Выбор вида светового излучения и длины волны для ОС зависит как от характера передаваемого сообщения, так и от возможностей создания такого излучения, формирования из него сигнала, передачи и обработки световой волны и, наконец, приема сигнала, содержащего информацию.

Обобщенная структурная схема системы оптической системы приведена на рис. 7.1. Схема состоит из стандартных блоков (элементов) присущие к этим видам оптических систем: волоконно-оптической системе и открытой оптической системе.

От источника сообщений поступает непрерывная или цифровая информация. Дальше сигналы модулируются с оптической несущей. Потом оптический сигнал в виде светового луча распространяется по передающей среде - по оптическому каналу. Передающей средой может быть открытое пространство, атмосфера, то есть линия ООС или линия ВОС. Передаваемая информация в демодуляторе оптического приемника демодулируется. При передаче на дальние расстояния, когда на входе приемника отношение сигнал/помеха ниже требуемого уровня на линии устанавливаются регенераторы.

Рассмотрим структурную схему систем ВОС (рис. 7.2.).

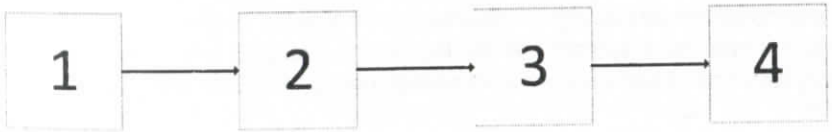


Рис 7.1.Обобщенная структурная схема системы оптических систем

1- источник информации; 2- оптический передатчик и модулятор; 3- оптический канал; 4- оптический приемник.

Рис 7.2. Структурная схема системы ВОС.

В состав систем ВОС входят следующее: СП - система передачи; ОС – оборудование сопряжения; ОПер - оптический передатчик; ОВ - оптическое волокно; ОР-оптический регенератор; КОУ-квантовый оптический усилитель; ОПр - оптический приемник.

Совокупности СП, ОС, ОПер и СП, ОС, ОПр образуют соответственно тракт передачи и приема оконечных станций А и Б. В промежуточных станциях устанавливаются ОР, КОУ. В волоконно-оптический линейный тракт, входят: ОПер, ОВ, ОР, КОУ, ОПр.

Как видно на рис. 7.2. с передающей станции N первичные электрические сигналы поступают на систему передачи. С выхода СП многоканальный электрический сигнал подается в ОС, где он преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту. В оптическом передатчике электрический сигнал путем модуляции оптической несущей преобразуется в оптический, который далее передается по ОВ.

При распространении оптического сигнала по ОВ происходит его ослабление и искажение. С целью увеличения дальности связи через определенное расстояние, в зависимости от степени искажения сигнала устанавливаются регенераторы или квантовые оптические усилители. На входе регенератора оптический сигнал преобразуется на электрический, а на выходе с электрического сигнала на оптический, тоесть в регенераторах электрический сигнал усиливается, корректируется и восстанавливается его первоначальная форма. При использовании квантовых оптических

усилителей ослабленные оптические сигналы, не преобразуясь на электрические сигналы, усиливаются.

На приемной оконечной станции Б. осуществляется обратное преобразование. В ОС для модуляции оптической несущей информационным сигналом можно использовать частотную (ЧМ), фазовую (ФМ), амплитудную (АМ), поляризационную (ПМ) модуляции, модуляции по интенсивности (МИ) и др. В большинстве используется модуляция по интенсивности оптического излучения. Причина этого то, что этот вид модуляции в широком диапазоне частот выполняется для используемых в оптических передатчиках полупроводниковых источников излучения (светодиодов, лазерных диодов) простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового источника, достаточно изменять ток инжекции (ток накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко обеспечивается электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока. Модуляция интенсивности оптического излучения приводит и к простым решениям. Обратного преобразования оптического сигнала в электрический. Действительно, фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является квадратичным прибором. Выходной ток, которого пропорционален квадрату амплитуды оптического поля.Подавая модулированный по интенсивности оптический сигнал непосредственно на фотодетектор. Можно очень просто преобразовать его в электрический, с сохранением формы модулирующего сигнала. Этот принцип приема оптического сигнала называется методом прямого фотодетектирования.

В настоящее время в качестве оконечного оборудования используются цифровые системы передачи (ЦСП). Потому что ЦСП по сравнению с аналоговыми системами передачи имеет следующие преимущества: высокая помехоустойчивость, малая зависимость качества передачи от длины линейного тракта, высокие технико-экономические показатели и др. Использование аналоговых систем передачи с частотным разделением каналов в системах ОС ограничена из-за нескольких недостатков.

7.3. Использование волоконной оптики в транспортной сети телекоммуникаций

Наблюдаемый сегодня бурный рост объемов данных и голосового трафика, во многом вызванный развитием сети Интернет, создал дефицит пропускной способности в городских оптоволоконных каналах. В результате конкурирующие операторы связи, Интернет-провайдеры и прочие компании, связанные с телекоммуникациями, почувствовали, что их возможности по удовлетворению спроса на полосу пропускания и расширению ассортимента услуг резко ограничены. Прокладка новых оптоволоконных кабелей в густонаселенных городских районах часто требует больших расходов и занимает много времени, поэтому операторы связи вынуждены искать иные решения. Чтобы справиться с быстрым ростом абонентской базы, удовлетворить сложные требования новых приложений в области полосы пропускания и разнообразить свои услуги, провайдеры должны с максимальной эффективностью использовать уже проложенные оптоволоконные кабели, а также кабели, которые будут проложены в будущем. Поэтому с каждым годом все более актуальными становятся технологии, позволяющие существенно увеличить пропускную способность существующей инфраструктуры, наиболее перспективной в настоящее время является технология плотного спектрального мультиплексирования по длине волны.

Технология плотного спектрального мультиплексирования по длине волны (DWDM)

Технология DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) обеспечивает наибольшую пропускную способность приисполь зовании одной оптической пары.

СУТЬ ТЕХНОЛОГИИ DWDM

Высокая пропускная способность достигается за счет применения технологиимультиплексирования по длине волны, когда по одной оптической паре передается несколько независимых потоков,каждый на своей длине волны.

Существующее сейчас оборудование позволяет передавать до ***300 независимых оптических потоков в одной оптической паре***. В каждом из таких каналов прозрачно передается информационный поток наскоростях от ***100 Мбит/с до 40 Гбит/с.***

Внедрение технологии плотного спектрального мультиплексирования по длине волны (Dense Wavelength DivisionMultiplexing – DWDM) создает возможность повышения эффективности передачи трафика в оптических каналах городских сетей. Наиболее привлекательной особенностью технологии DWDM, как с технической, так и с экономической точки зрения, является ее способность „ поддерживать практически неограниченные возможности по передаче трафика. Она не только защищает инвестиции, вложенные в существующие оптоволоконные каналы, но и повышает ихвозможности, по меньшей мере, в 32 раза. По мере роста спроса имеется возможность расширять емкость своей сети с помощьюпростых модернизаций оборудования или за счет увеличения количества задействованных длин волн(λ),не прибегая кдорогостоящим реконструкциям. Расширяя емкость, вы будете платить только за новое оборудование. Что же касаетсякабельной сети, то она останется прежней.

Основными сетевыми элементами сети DWDM являются:

- DWDM-мультиплексоры/демультиплексоры;
- DWDM-мультиплексоры ввода/вывода;
-DWDM-транспондеры, преобразующие оптические сигналы (одномодовые или многомодовые) от оборудованияпользователя в одну из длин волн;
- оптические усилители;
- компенсаторы дисперсии.

Помимо полосы пропускания, технология DWDM имеет целый ряд других преимуществ:

Прозрачность. Поскольку DWDM – это архитектура физического уровня, она может прозрачно поддерживать мультиплексирование с разделением по времени (TDM) и форматы данных ATM, Gigabit Ethernet, ESCON и Fibre Channelc открытыми интерфейсами на общем физическом уровне.

Масштабируемость. DWDM может использоваться для быстрого наращивания емкости в соединениях «точка–точка» и сегментах существующих колец SDH.

Технология грубого спектрального мультиплексирования по длине волны (CWDM)

Технология CWDM (CoarseWavelengthDivisionMultiplexing) является упрощенным вариантом DWDM. Согласно рекомендации ITU-T G.694.2, CWDM использует длины волн с шагом 20нм, т. е. отстоящие достаточно далеко друг друга, что делает стоимость систем, построенных на основе этой технологии, значительно более низкой, чем у систем на базе DWDM.

Технология CWDM, аналогично DWDM, является протоколонезависимой, и по каждому из каналов можно передавать любой трафик со скоростями от 100 Мбит/с до 2,5 Гбит/с.

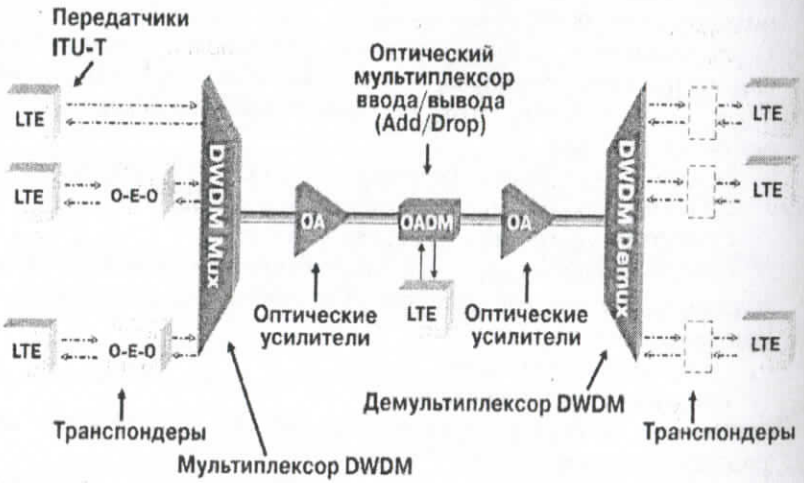


Рис 7.3. Компоненты системы DWDM.

Основным ограничением CWDM (по сравнению с DWDM) является меньшее количество каналов (в настоящее время поддерживается до 8 мультиплексируемых каналов) и меньшая дальность связи. В силу ограничений основная область применения

этой технологии – оптические сети городского и регионального масштаба в условиях дефицита свободного оптического волокна и/или для расширения пропускной способности существующих сетей.

Основными сетевыми элементами CWDM являются:

– CWDM-мультиплексоры/демультиплексоры;

– CWDM-мультиплексоры ввода/вывода;

–CWDM-транспондеры, преобразующие оптические сигналы (одномодовые или многомодовые) от оборудования пользователя к одной из длин волн CWDM.

CWDM может быть использовано как расширение существующей оптической инфраструктуры, использующейся для транспорта Gigabit Ethernet, которое поддерживает:

- масштабируемые соединения Gigabit Ethernet «точка–точка» для объединения узлов с использованием «темного»волокна;

- масштабируемые городские кольцевые сети Gigabit Ethernet для организации сетей доступа и предоставления услуг,требующих большой пропускной способности.

CWDM состоит из набора из 8 модулей Gigabit Ethernet (по 1 для каждой фиксированной длины волны)и набора из 10 различных оптических мультиплексоров CWDM. Пример использования CWDM для объединениядвух узлов приведен на рис. 7.4.

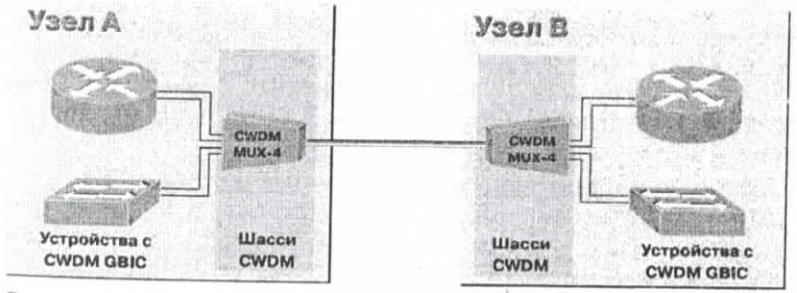


Рис 7.4. Пример использования CWDM для объединения двух узлов

Технология синхронной цифровой иерархии (SDH)

В 5 главе настоящего учебного пособия уже затрагивались некоторые аспекты данной технологии. Напомним лишь главное.

Сеть на базе SDH способна обеспечивать транспорт для большинства существующих технологий высокоскоростной передачи информации по оптическим сетям (в том числе ATM и POS).Существующее на сегодняшний день оборудование SDH может передавать информацию со следующими линейными скоростями: 155 Мбит/с (STM-1); 622 Мбит/с (STM-4); 2,5 Гбит/с (STM-16); 10 Гбит/с (STM-64), 40 Гбит/с (STM-256).

Функционально мультиплексор SDH имеет два набора интерфейсов: пользовательский и агрегатный. Пользовательский набор отвечает за подключение пользователей, а агрегатный – за создание линейных межузловых соединений.

Технология пакетной передачи данных поверх SDH (POS)

Технология пакетной передачи данных поверх SDH (Packet over SDH – POS) позволяет маршрутизаторам опорной сети передавать пакеты IP непосредственно поверх фреймов SDH. POS обеспечивает наиболее эффективную передачу пакетов и обеспечивает наименьшую стоимость за мегабит по сравнению с любыми другими способами транспорта данных. POS использует протокол PPP для инкапсуляции IP-пакетов в фреймы SDH иисполуется для соединений «точка–точка». В ситуации непрерывного развития оптических сетей эти характеристики позволяют POS эффективно поддерживать нарастающие объемы IP-трафика в существующих и новых оптических сетях. Интерфейс POS совместим с SDH. Он поддерживает обработку сигналов тревоги, мониторинг производительности, синхронизацию и защищенную коммутацию на уровне SDH.

Технология динамического транспорта пакетов (DPT)

Технология динамического транспорта пакетов (Dynamic Packet Transport – DPT – высокоскоростная технология динамической передачи IP-пакетов) была предложена компанией Cisco Systems и находится в стадии принятия в качестве международного стандарта IEEE 802.17. DPT обеспечивает надежность и гибкость, характерную для традиционных транспортных технологий SONET/SDH, однако она оптимизирована для поддержки трафика и приложений IP. DPT использует двойные оптическое кольцо, по которому трафик и контрольные сообщения передаются одновременно вдвух направлениях. Протокол DPT Spatial Reuse

Protocol (SRP) позволяет снимать с пакетов данные о месте назначения и выполнять статистическое мультиплексирование, что резко повышает полосу пропускания в кольце, и создавать среду, независимую от типа трафика.

DPT сочетает эффективность использования полосы пропускания и богатство услуг IP с широкой пропускной способностью и функциями «самовосстановления», которые характерны для традиционных оптоволоконных колец. Все это создает значительные преимущества по сравнению с существующими решениями как по стоимости, так и по функциональности.

Данная технология ориентирована в первую очередь на провайдеров услуг по передаче данных и позволяет отказаться от промежуточных уровней при передаче IP-трафика по сетям SDH. Основная идея состоит в создании нового стандарта 2-го уровня модели OSI, позволяющего напрямую инкапсулировать пакеты IP в кадры формата SDH. Таким новым MAC-уровнем в технологии DPT является протокол SRP (Spatial Reuse Protocol), использующий стандартную MAC-адресацию. При этом внедрение новой технологии облегчается тем, что она позволяет использовать оптическую кабельную инфраструктуру, аналогичную SDH.

При работе устройств используются два основных механизма:

-механизмы равномерной загрузки каналов (fairness algorithm) и переиспользования полосы (spatial reuse), которые позволяют независимым образом использовать пропускную способность каналов связи на различных участках кольца;

- механизм замыкания каналов в случае отказов каналов или устройств (Intelligent Protection Switching – IPS).

Предполагается, что сети, построенные на базе технологии DPT, имеют кольцевую топологию, хотя технология допускает и использование подключения типа «точка–точка». Узлы в кольце объединяются высокоскоростными оптоволоконными каналами связи на скоростях 155/622/2400 Мбит/с. Специализированный протокол IPS (Intelligent Protection Switching) обеспечивает отказоустойчивую работу сети при выходе из строя одного из узлов в кольце или обрыве магистральной линии связи. Технология DPT обеспечивает уровень защиты от сбоя в сети, аналогичный традиционным системам SDH, и при обрыве магистрального канала связи, переход на альтернативный маршрут происходит менее чем

за 50мс. При этом в пограничных маршрутизаторах опорной сети не происходит перестройки таблиц маршрутизации.

В то же время технология DPT позволяет использовать всю пропускную способность опорной сети (в отличие от технологии SDH, реализующей резервирование пропускной способности в сети на случай сбоя). Кроме того, специальные механизмы, реализованные в данной технологии, обеспечивают необходимый уровень приоритизации и статистического мультиплексирования пакетов.

Основными преимуществами технологии DPT являются:

-эффективное использование полосы пропускания. По сравнению с технологиями TDM, полоса пропускания используется более полно за счет применения пакетной технологии, нет необходимости выделять отдельную полосу для резервирования;

-возможность построения высокоскоростной сети передачи пакетов (IP-сеть) без наложения дополнительных промежуточных протоколов 2-го уровня модели OSI. Это повышает эффективность использования каналов и позволяет отказаться от дополнительного оборудования для интеграции данных и голоса при передаче в опорную часть сети;

-возможность организации сервиса VoIP;

-высокоскоростная доставка пакетов с требуемым качеством обслуживания и высокой степенью защиты информации(посредством использования технологии MPLS);

-возможность одновременной загрузки различных участков. Наличие протокола SRP (Spatial Reuse Protocol) позволяет вести одновременный обмен данными между любыми узлами в сети;

- снижение загрузки маршрутизатора, вся обработка транзитного трафика осуществляется прямо на интерфейсном модуле, при этом только трафик, предназначенный для конкретного узла, обрабатывается центральным процессором узлового маршрутизатора;

- возможность приоритизации трафика, трафик можно распределять по двум очередям в буферной памяти на интерфейсных модулях и в буферной памяти маршрутизатора;

-резервирование каналов связи и оборудования (включая блоки питания, управляющие модули);

К недостаткам технологии DPT можно отнести:

-невозможность организации «прозрачных» каналов;

-необходимость построения сети передачи данных на оборудовании одного производителя.

В данном параграфе были рассмотрены основные технологии использующие волоконно-оптические линии связи для надежной транспортной сети телекоммуникаций. Далее в следующем параграфе подробно будет рассмотрена технология внедрения волоконной оптики в сеть абонентского доступа.

7.4. Использование волоконной оптики в сети абонентского доступа

Группа технологий FTTx (Fiber To The x - оптическое волокно до ...) предназначена для совместного использования с технологиями ADSL и VDSL и позволяет более эффективно использовать пропускную способность этих технологий благодаря сокращению длины медно-кабельных линий связи. Есть несколько вариантов реализации FTTx, из них можно выделить основные:

- FTTH - Fiber To The Home (доведение волокна до квартиры);
- FTTB - Fiber To The Building (доведение волокна до здания).
- FTTN (Fiber to the Node) - волокно до сетевого узла;
- FTTO - Fiber To The Office (доведение волокна до офиса);
- FTTC - Fiber To The Curb (доведение волокна до кабельного шкафа);
- FTTCab - Fiber To The Cabinet (аналог FTTC);
- FTTR - Fiber To The Remote (доведение волокна до удаленного модуля,концентратора);
- FTTOpt - Fiber To The Optimum (доведение волокна до оптимальногопункта);
- FTTP - Fiber To The Premises (доведение волокна до точки присутствияклиента).

Отдельно нужно отметить концепцию FTTB (Fiber In The Building) - организация распределительной сети внутри здания. Выше указанные технологии отличаются главным образом тем, на сколько близко к пользовательскому терминалу подходит оптический кабель (рис. 7.5).

На данный момент интенсивно растет интерес к развертыванию оптических сетей доступа с прокладкой кабеля до здания (FTTB), а также непосредственно до абонента (FTTH). В большей степени,

такая ситуация объясняется постоянным ростом требований к пропускной способности каналов связи, поскольку сейчас наблюдается бум развития «тяжелых» интернет-приложений, включая онлайн-видео, онлайн-игры и прочие сервисы.

При этом запланированный набор услуг и необходимая для его предоставления полоса пропускания имеют самое непосредственное влияние на выбор технологии FTTx. Поэтому чем выше скорость доступа и чем больше набор предоставляемых абоненту услуг, тем ближе к абонентскому терминалу должно подходить оптическое волокно, т. е. нужно использовать технологии FTTH. В случае, когда приоритетом является сохранение уже имеющейся сетевой инфраструктуры и оборудования, оптимальным выбором будет FTTB

Если же говорить о практическом использовании, архитектура FTTB преобладает в новостройках и у крупных операторов связи, тогда как FTTH востребована в новом малоэтажном строительстве (например, в коттеджных городках в окрестностях крупных городов).

Рассмотрим особенности реализации и применении наиболее распространенных технологий.

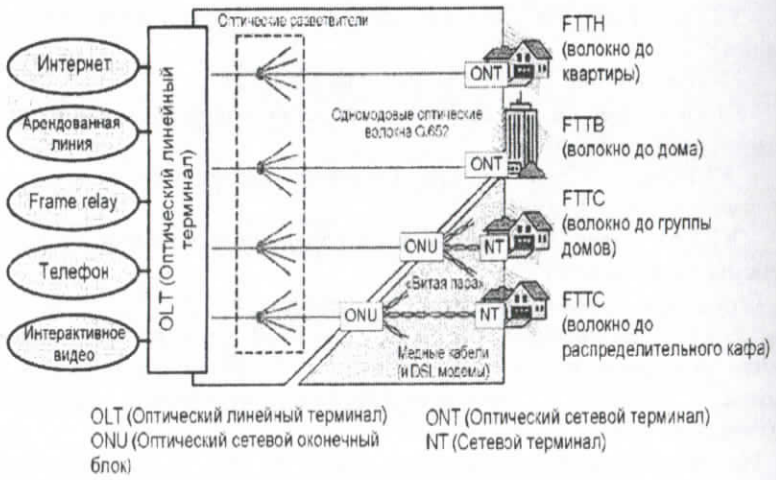
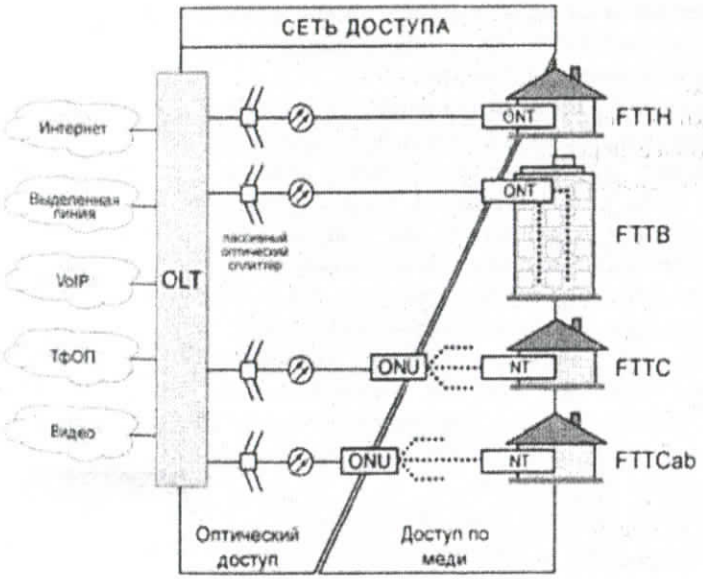


Рис. 7.5. Технологии оптического доступа FTTx

Технология FTTN используется в основном как бюджетное и быстро внедряемое решение там, где существует распределительная «медная» инфраструктура и прокладка оптики нерентабельна. Всем известны связанные с этим решением трудности: невысокое качество предоставляемых услуг, обусловленное специфическими проблемами лежащих в канализации медных кабелей, существенное ограничение по скорости и количеству подключений в одном кабеле.

Технология FTTC - это улучшенный вариант FTTN, лишенный части его недостатков. Архитектура FTTC в первую очередь предназначена для операторов, уже использующих технологии xDSL или PON, и операторов кабельного телевидения. Реализация архитектуры FTTC позволит им с меньшими затратами увеличить и число обслуживаемых пользователей, а также выделяемую каждому из них полосу пропускания. В Узбекистане этот тип подключения в часто применяется небольшими операторами студий кабельного телевидения. Связано это с более низкой стоимостью медных решений и с тем, что монтаж оптического кабеля требует высокой квалификации исполнителя.



Технология FTTB предполагает доведение волокна до здания, и получила наибольшее распространение, так как при строительстве сетей FTTx на базе Ethernet - это, зачастую, единственная технически возможная схема по-строения сети. Кроме того, в структуре затрат на создание Ethernet-сети разница между вариантами FTTC и FTTB относительно небольшая. Также не следует забывать, что операционные расходы при эксплуатации сети FTTB ниже, а пропускная способность выше.

Технологию FTTB целесообразно применять в случае развертывания сети в многоквартирных домах и бизнес-центрах. Операторы связи разворачивают сети FTTB пока только в крупных городах, но в перспективе планируется использование данной технологии повсеместно. В FTTB нет необходимости прокладывать дорогостоящий оптический кабель с большим количеством волокон, как при использовании FTTH.

В случае FTTB оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обмена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONU (или ONT, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре» (рис. 7.6).

Технология FTTH является наиболее затратной, но в то же время и наиболее перспективной, среди всех типов доступа FTTx. FTTH подразумевает доведение оптического волокна до квартиры или частного дома пользователя. В этом случае оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак (что более экономически целесообразно) и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обме¬на трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONT (или ONU, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре».

На первый взгляд, строительство сети FTTH - это очень трудоемкий и дорогостоящий процесс, но опыт подсказывает, что

основные затраты при развертывании сети FTTH приходятся на строительные работы, а стоимость самого оптоволоконного кабеля составляет относительно небольшую часть. Это означает, что в случае необходимости проведения строительных работ количество прокладываемого оптоволоконного кабеля уже не имеет большого значения.

Рис 7.6. Технология FTTB

Более того, хотя жизненный цикл сети FTTH и ее электронных компонентов составляет несколько лет, оптоволоконный кабель и оптическая распределительная сеть имеют более длительный срок службы (по крайней мере, 30 лет).

Архитектуры развернутых сетей FTTH можно разделить на три основные категории:

-«Кольцо» Ethernet-коммутаторов;

-«Звезда» Ethernet-коммутаторов;

-«Дерево» с использованием технологий пассивной оптической сети PON.

Технология пассивной оптической сети PON

Подгруппа технологий пассивных оптических сетей (PON) - это семейство быстроразвивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптическому волокну. Суть технологии пассивных

оптических сетей, вытекающая из ее названия, состоит в том, что ее распределительная сеть строится без каких- либо активных компонентов: разветвление оптического сигнала осуществляется с помощью пассивных делителей оптической мощности - сплиттеров.

Следствием этого преимущества является снижение стоимости системы доступа, уменьшение объема необходимого сетевого управления, высокая дальность передачи и отсутствие необходимости в последующей модернизации распределительной сети.

Суть технологии PON заключается в том, что между приемопередающим модулем центрального узла OLT (optical line terminal) и удаленными абонентскими узлами ONT (optical network terminal) создается полностью пассивная оптическая сеть, имеющая топологию дерева (рис. 7.7).

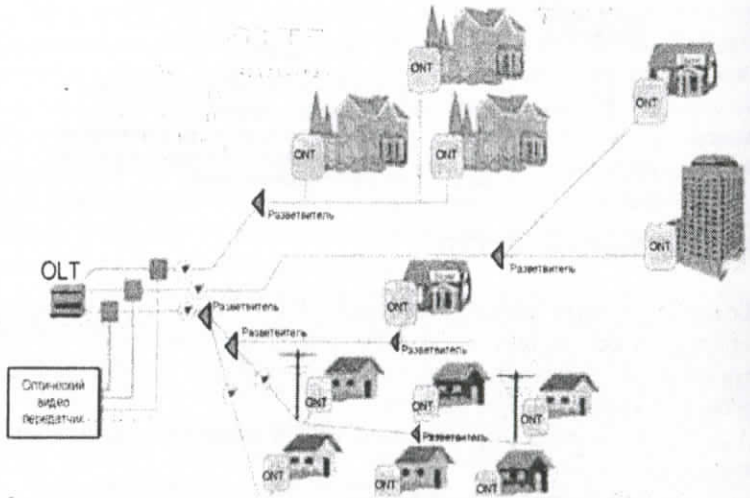


Рис 7.7. Арихтектура PON сети

В промежуточных узлах дерева размещаются пассивные оптические разветвители (сплиттеры) с коэффициентом разветвления до 1:64 или даже 1:128. - компактные устройства, не требующие питания и обслуживания. Один приемопередающий модуль OLT позволяет передавать информацию множеству абонентских устройств ONT.

. Число ONT, подключенных к одному OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры.

Для передачи прямого и обратного канала используется одно оптическое волокно, полоса пропускания которого динамически распределяется между абонентами, или два волокна в случае резервирования. Нисходящий поток (downstream) от центрального узла к абонентам идет на длине волны 1490 нм и 1550 нм для видео.

Восходящие потоки (upstream) от абонентов идут на длине волны 1310 нм с использованием протокола множественного доступа с временным разделением (TDMA). В некоторых случаях используется дополнительная длина волны нисходящего потока (downstream), что позволяет предоставлять традиционные аналоговые и цифровые телевизионные услуги пользователям без применения телевизионных приставок с поддержкой IP.

Для построения PON используется топология «точка - многоточка» и сама сеть имеет древовидную структуру. Каждый волоконно-оптический сегмент подключается к одному приемопередатчику в центральном узле (в отличие от топологии «точка-точка»), что также дает значительную экономию в стоимости оборудования. Один волоконно-оптический сегмент сети PON охватывает до 32 абонентских узлов в радиусе до 20 км для технологий EPON/BPON и до 128 абонентских узлов в радиусе до 60 км для технологии GPON (рис. 7.8).

Каждый абонентский узел рассчитан на обычный жилой дом или офисное здание и в свою очередь может охватывать сотни абонентов. Все абонентские узлы являются терминальными, и отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не влияет на работу остальных.

Архитектура FTTH на базе PON обычно поддерживает протокол Ethernet. Центральный узел PON может иметь сетевые интерфейсы ATM, SDH (STM-1),Gigabit Ethernet для подключения к магистральным сетям. Абонентский узел может предоставлять сервисные интерфейсы 10/100Base¬TX, FXS (2, 4, 8 и 16 портов для подключения аналоговых телефонных абонентов), E1, цифровое видео, ATM (E3, DS3, STM-1).

На рис. 7.9 изображена типичная пассивная оптическая сеть PON, в которой используются различные терминаторы оптической сети (optical network termination, ONT) или устройства оптической

сети (optical network unit, ONU). ONT предназначены для использования отдельным конечным пользователем. Устройства ONU обычно располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и совместно используются группой пользователей. Голосовые сервисы, а также услуги передачи данных и видео доводятся от ONU или ONT до абонента по кабелям, проложенным в помещении абонента.В семействе сетей PON существует несколько разновидностей, отличающихся, в первую очередь, базовым протоколом передачи. Причем стандарты PON активно совершенствуются в направлении увеличения скорости передачи и дальности связи.

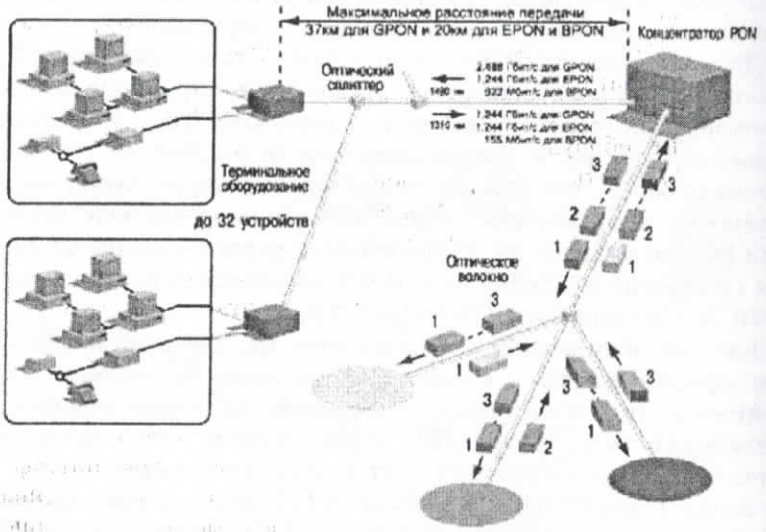


Рис. 7.8.Принцип временного разделения абонентов в технологии PON

Стандарт сети APON был создан международным консорциумом FSAN (Full Service Access Network) в 1995 году. В состав сети APON входят:

-одинсетевойузелOLT (OpticalLineTerminal);

-до 32 абонентских терминалов ONU (Optical Network Unit);

-пассивные оптические ответвители (splitter).

В стандарте APON обеспечивалась скорость передачи прямого и обратного потоков по 155 Мбит/с (симметричный режим) или 622 Мбит/с в прямом потоке и 155 Мбит/с в обратном (асимметричный режим). Во избежание наложения данных, поступающих от разных абонентов, OLT направляло на каждый ONU служебные сообщения с разрешением на отправку данных.

Прямой и обратный каналы организуются в одном оптическом волокне за счет волнового уплотнения - передача к абонентам ведется на длине волны 1550 нм, а в обратном направлении - 1310 нм. Скорость передачи информации для индивидуального пользователя составляет 20 Мбит/с, а максимальное удаление пользователя от узла доступа - 20 км. В настоящее время APON в своем первоначальном виде практически не используется.

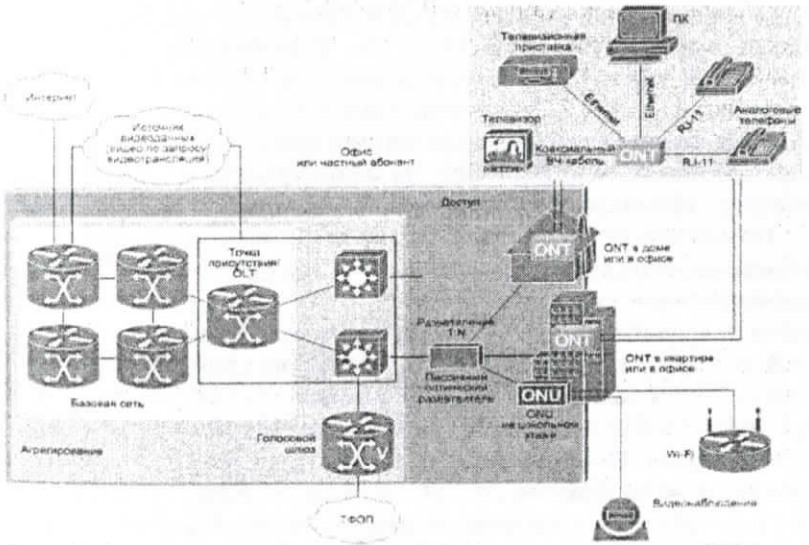


Рис. 7.9.Структура типичной пассивной оптической сети PON

Стандарт BPON появился в результате эволюционного совершенствования технологии PON. В BPON скорость прямого и обратного потоков доведена до 622 Мбит/с в симметричном режиме или 1244 Мбит/с и 622 Мбит/с в асимметричном режиме. Предусмотрена возможность передачи трех основных типов информации (голос, видео, данные), причем для потока

видеоинформации выделена длина волны 1550 нм. BPON позволяет организовывать динамическое распределение полосы между отдельными абонентами. После разработки более высокоскоростной технологии GPON, применение BPON практически утратило смысл чисто экономически.

Стандарт EPON (Ethernet PON) появился в результате использования технологии Ethernet в локальных сетях и построение на их основе оптических сетей доступа. Такие сети, в основном, рассчитаны на передачу данных со скоростью прямого и обратного потоков 1 Гбит/с на основе IP-протокола для 16 (или 32) абонентов. Исходя из скорости передачи, в статьях и литературных источниках часто фигурирует название GEPON (Gigabit Ethernet PON), которое также относится к стандарту IEEE 802.3ah. Дальность передачи в таких системах достигает 20 км. Для прямого потока используется длина волны 1490 нм, 1550 нм резервируется для видео приложений. Обратный поток передается на 1310 нм. Во избежание конфликтов между сигналами обратного потока применяется специальный протокол управления множеством узлов (Multi-Point Control Protocol, MPCP). В GEPON также поддерживается операция bridging - обмена информацией между пользователями.

Технология GPON которая наследует линейку APON - BPON, но с более высокой скоростью передачи - 1244 Мбит/с, 2488 Мбит/с (в асимметричном режиме) и 1244 Мбит/с (в симметричном режиме) считается наиболее удачной для больших операторов, строящих большие разветвленные сети с системами резервирования. За основу GPON был принят базовый протокол SDH (а точнее SDH на протоколе GFP) со всеми вытекающими преимуществами и недостатками. В GPON возможно подключение до 32 (или 64) абонентов на расстоянии до 20 км (с возможностью расширения до 60 км). GPON поддерживает трафик ATM, IP, речь и видео (инкапсулированные в кадры GEM — GPON Encapsulated Method), а также модули SDH. Сеть работает в синхронном режиме с постоянной длительностью кадра. Линейный код NRZ со скремблированием обеспечивают высокую эффективность полосы пропускания. Единственным серьезным недостатком GPON является высокая стоимость оборудования.

Технология WDM PON является следующим эффективным шагом по увеличению скорости передачи построенных систем PON за счет применения систем оптического уплотнения WDM. В

рекомендации ITU-T G.983.2 описана возможность передачи сигналов на выделенных для каждого абонента длинах волн. В сети передается общий поток, а каждый абонентский терминал имеет оптический фильтр для выделения своей длины волны. Технически возможно обеспечить производительность системы со скоростями около 4-10 Гбит/с по каждому каналу. После такой реконструкции провайдеры получат возможность настраивать пропускную способность в соответствии с требованиями клиента и успешно добавлять или удалять устройства ONU без вмешательства в общую систему, т. е. в будущем внедрение систем WDM PON принесет реальные преимущества операторам при незначительных затратах.

Отдельные разновидности PON имеют свои преимущества и недостатки, но в целом BPON, основанный на платформе ATM, уже не обеспечивает высокую скорость передачи и практически не имеет перспектив.

Технология GPON является более удачной для сетей большой протяженности и емкости. Базовая платформа SDH обеспечивает хорошую защиту информации в сети, широкую полосу пропускания и другие преимущества. Однако более сложное и дорогостоящее оборудование хорошо окупается при высокой степени загрузки.

В GEPON, в отличие от GPON, отсутствуют специфические функции поддержки TDM, синхронизации и защитных переключений, что делает эту технологию самой экономичной из всего семейства. Особенно это касается небольших операторов, ориентированных на IP-трафик, а впоследствии и IPTV. К тому же предполагается дальнейшее развитее этого ряда - 10GEPON(по аналогии с 10 Gb Ethernet). Поэтому из-за наилучшего соотношения цена/качество при среднем размере сети, в нашей стране вариант GEPON получил наибольшее распространение.

Технология PON имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- невысокая стоимость построения сети;
- экономия оптико-волоконного кабеля на участке;
- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети;
- возможность постепенного наращивания сети;
- перспективность создания распределительной инфраструктуры, обеспечивающей в будущем развитие любых

мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;

- высокая надежность за счет использования пассивного оборудования.

Отметим типовые проблемные вопросы, с которыми сталкиваются про-вайдеры, при развертывании пассивной оптической сети PON.

Общая полоса пропускания. Полоса пропускания в дереве оптоволоконных линий сети PON используется как можно большим числом абонентов. Хотя технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, она не может соответствовать росту будущих требований абонентов в долгосрочной перспективе, поскольку потребности в пропускной способности растут экспоненциально.

Особенно, если некоторую часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг (например, IPTV).

Шифрование. Поскольку PON - это технология с общей средой передачи, то необходимо шифрование всех потоков данных. В технологии GPON проводится шифрование AES с 256-разрядными ключами только нисходящего потока. Однако использование стандарта AES снижает производительность сети, так как при шифровании необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом.

Высокая рабочая скорость оконечных устройств. В связи с использованием в пассивных оптических сетях PON общей передающей среды, каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать на единой максимальной скорости передачи данных. Даже если абоненту необходима скорость 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в дереве PON должна работать на скорости стандарта (2,5 Гбит/с для GPON). Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз превышающей необходимую скорость передачи данных, повышает цену компонентов.

Необходимость большей мощности оптического сигнала. При каждом разветвлении в соотношении 1:2 энергетический потенциал линии связи падает на 3,4 дБ. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (эквивалентно отношению мощностей 110). В этом случае, все оптические передатчики должны обеспечивать в

110 раз большую мощность оптического сигнала по срав¬нению с архитектурой FTTH «точка-точка» при передаче на то же расстояние.

Доступ к абонентским линиям. Отделение абонентских линий (Local Loop Unbundling (LLU) - это метод, применяемый в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку имеется только одна оптоволоконная линия для подключения группы абонентов, которая, следовательно, не может быть разделена на физическом уровне, а только на логическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU).

Неоптимальное использование ресурса сети. Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий. При развертывании услуг для частных абонентов провайдеры редко достигают 100% подписки. Обычно этот показатель близок к 30%, что означает, что часть структуры PON простаивает, а сеть в целом используется не оптимально.

Сложность обслуживания, поиска и устранения неисправностей. Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминации оптической сети (ONT) абонента.

Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию. Так же при повреждении точки терминации оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой сети, причем найти поврежденное устройство очень трудно.

Вместе с тем указанные проблемные вопросы не являются критичными и по мнению многих аналитиков, рынок систем PON будет поступательно развиваться в течение ближайших трех-

четырех лет, после чего начнется массовое внедрение систем в жилищном секторе.

Технология Ethernet FTTH

В решении Ethernet FTTH для коммутации линий подразумевается использование коммутаторов с оптическими портами или оптическими трансиверами.

В основе первых европейских проектов сетей Ethernet FTTH лежала архитектура, при которой коммутаторы, расположенные на цокольных этажах многоквартирных домов, были объединены в кольцо по технологии Gigabit Ethernet. Кольцевая структура обеспечивала прекрасную устойчивость к различного рода повреждениям кабеля и была весьма рентабельной, но к ее недостаткам можно было отнести разделение полосы пропускания внутри каждого кольца доступа (1 Гбит/с), что давало в перспективе сравнительно небольшую пропускную способность, а также вызывало трудности масштабирования архитектуры.

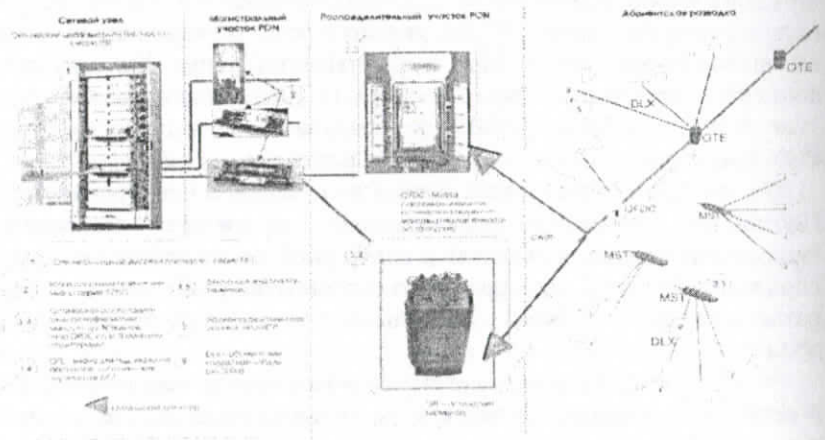


Рис 7.10 Пример использования технологии PON для разворачивания телекоммуникационной сети в коттеджном поселке

Затем широкое распространение получила архитектура Ethernet типа «звезда» (рис. 7.11). Такая архитектура предполагает наличие выделенных оптоволоконных линий (обычно одномодовых,

одноволоконных линий с передачей данных Ethernet по технологии 100BX или 1000BX) от каждого оконечного устройства к точке присутствия (point of presence, POP), где происходит их подключение к коммутатору. К портам коммутатора подключаются устройства конечных пользователей. Такой подход обеспечивает высокий уровень надежности за счет возможности резервирования оптических каналов, и обеспечивает преемственность с существующей «медной» инфраструктурой.

Рассмотрим преимущества решений Ethernet FTTH перед архитектурой на базе PON.Практически неограниченная дискретная полоса пропускания. Оптоволоконная линия может обеспечить практически неограниченную полосу пропускания, что позволяет достичь максимальной гибкости в наращивании предоставляемых сервисов в будущем, когда потребность в пропускной способности возрастет. Архитектура Ethernet FTTH позволяет провайдеру гарантировать каждому абоненту необходимую пропускную способность и создавать в сети индивидуальные профили полосы пропускания для каждого клиента. Большой радиус действия. В типовых конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH применяются недорогие одноволоконные линии, использующие технологию 100BX или 1000BX, с заданным максимальным радиусом действия 10 км

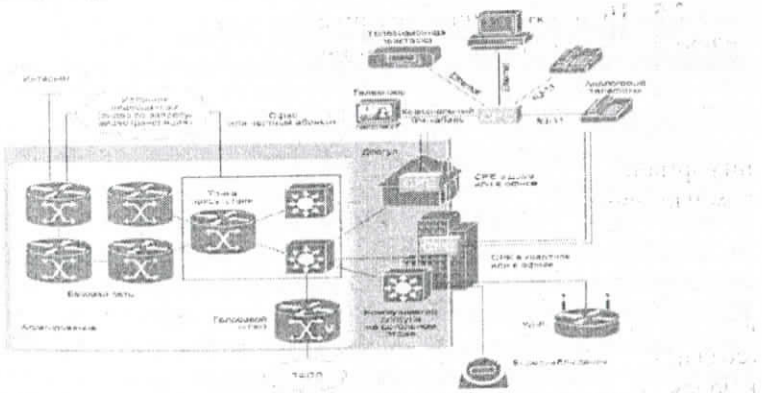


Рис 7.11. Архитектура сети Ethernet FTTH типа «звезда»

. Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые

можно подключить к порту любого Ethernet- оборудования.Гибкое масштабирование сети. В случае появления новых абонентов можно добавить дополнительные карты Ethernet с высокой степенью модульности. Напротив, при использовании архитектуры на базе PON подключение первого абонента к оптическому дереву требует наличия наиболее дорогостоящего порта OLT, а при добавлении абонентов к тому же дереву PON стоимость подключения каждого абонента только увеличивается за счет приобретении.Гибкое масштабирование скорости обслуживания абонентов. Поскольку одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, можно легко увеличить скорость для одного абонента, не влияя на работу других. Это означает, что абонент, использующий технологию Fast Ethernet, может перейти на Gigabit Ethernet за счет переключения оптоволоконной линии абонента на другой порт коммутатора и замены только Ethernet-устройства абонента.

Безопасность обеспечивается за счет того, что выделенная оптоволоконная линия является защищенной средой на физическом уровне. Кроме того, коммутаторы Ethernet, использующиеся у провайдеров, призваны обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов и имеют функции защиты, которые в состоянии предотвратить попытки вторжений.

7.5. Использование оптических линий связи в системах телекоммуникаций. Структурированные кабельные системы

Современное здание, будь то офис, производственный комплекс или жилой дом, насыщено множеством кабельных разводок и информационных сетей, среди которых: телефонная система, компьютерная сеть(корпоративная компьютерная сеть), система видеонаблюдения, сеть офисного телевидения, системы пожарной и охранной сигнализации, системы контроля и управления доступом. Кабельные системы являются тем "базисом" на котором строятся все вышеперечисленные системы. Грамотная организация (создание СКС) кабельной системы здания является одной из ключевых задач создания интеллектуальных систем и определяет надежность функционирования всех служб и подразделений корпорации. Именно поэтому при создании кабельной системы здания необходимо, чтобы она была бы такой же капитальной, как

и само здание. В то же время именно кабельные системы в первую очередь затрагивают изменения в новых технологиях передачи данных, сетевых и коммуникационных стандартах, моделях оборудования и версиях прикладных программ, из-за которых приходится постоянно модернизировать или даже полностью заменять всю слаботочную проводку.

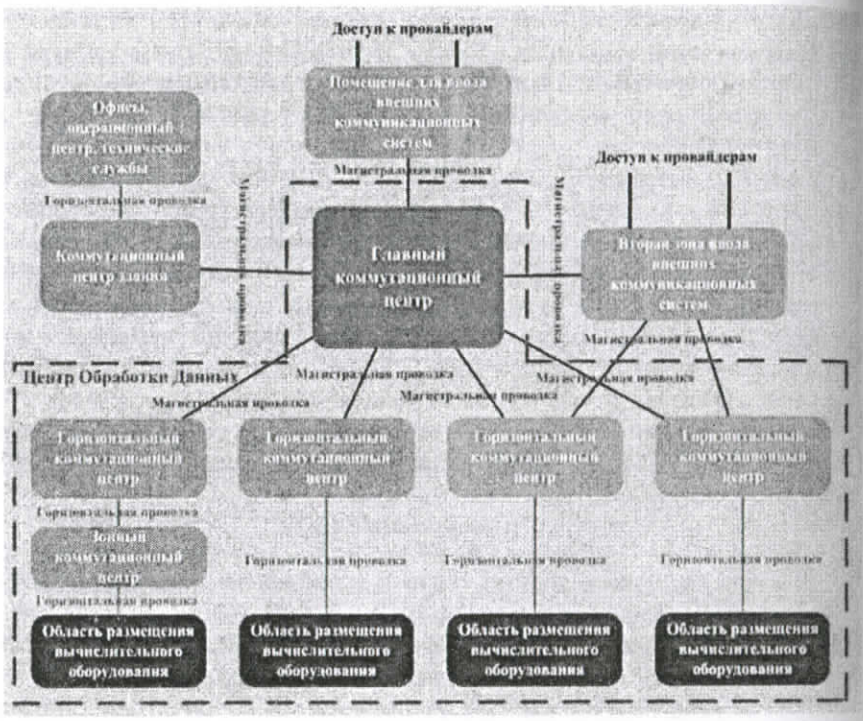
СКС - ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

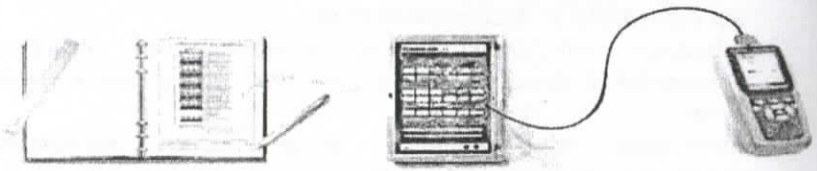
Все перечисленные элементы интегрируются в единую систему и эксплуатируются согласно определенным правилам.В основу концепции структурированных кабельных систем положена возможность реализации следующих основных принципов:

Универсальность - для передачи данных в ЛВС (локальная сеть), организации локальной телефонной сети, передачи видеоинформации или сигналов от датчиков пожарной безопасности или охранных систем используется единая кабельная система. При продуманной интеграции в инфраструктуру здания (при разработке СКС) структурированные системы позволяют автоматизировать многие процессы по контролю, мониторингу и управлению хозяйственными службами и системами жизнеобеспечения.

Гибкость - СКС позволяют быстро и легко изменять конфигурацию кабельной системы и управлению перемещениями внутри здания и между зданиями. Для этого администратору сети достаточно перекоммутировать контакты на кроссировочных панелях. Это позволяет обеспечить гибкое изменение рабочих мест сотрудников и полное изменение конфигурации системы, включая замену и добавление оборудования, расширение системы без прокладки СКС заново.

Устойчивость - тщательно спланированная СКС устойчива к внештатным ситуациям и гарантирует высокую надежность и защиту данных в течение многих лет. Так большинство ведущих производителей дают гарантию на поставляемые ими СКС (при выполнении требуемых процедур сертификации) до 25 лет. Таким образом, структурированная кабельная система является универсальным и гибким решением задачи создания коммуникационной инфраструктуры здания или группы зданий.





СКС – основа компьютерной локальной сети (ЛВС)

Для работы организации требуется локальная сеть, объединяющая компьютеры, телефоны, периферийное оборудование. Без компьютерной сети можно обойтись. Только неудобно обмениваться файлами при помощи дискет, выстраиваться в очередь возле принтера, а доступ в интернет реализовывать через один компьютер. Решением служит технология, обозначаемая сокращенно СКС.

Структурированная кабельная система это универсальная телекоммуникационная инфраструктура здания или комплекса

зданий, обеспечивающая передачу сигналов всех типов, включая речевые, информационные, видео. СКС может быть установлена прежде, чем станут известны требования пользователей, скорость передачи данных, тип сетевых протоколов.Рекомендуемые стандартами рамки СКС составляют 50 – 50 000 пользователей на площади до 1 000 000 м^2.СКС создает основу телекоммуникационного оборудования здания / комплекса зданий, соединенного с помощью структурированной кабельной системы, называют локальной сетью.

СКС или компьютерная плюс телефонная сеть

Структурированные кабельные системы обеспечивают длительный срок службы, сочетая удобство эксплуатации, качество передачи данных, надежность. Внедрение СКС создает основу повышения эффективности организации, снижения эксплуатационных расходов, улучшения взаимодействия внутри компании, обеспечения качества обслуживания клиентов.Структурированная кабельная система строится таким образом, чтобы каждый интерфейс (точка подключения) обеспечивал доступ ко всем ресурсам сети. При этом на рабочем месте достаточно двух линий. Одна линия является компьютерной, вторая – телефонной. Линии взаимозаменяемы. Кабели соединяют телекоммуникационные разъемы рабочих мест с портами распределительных пунктов. Распределительные пункты объединяют магистральными линиями по топологии «иерархическая звезда».

СКС является интегрированной системой. Сравним СКС с устаревшей моделью "компьютерная плюс телефонная сеть". Ряд преимуществ является очевидным.

- интегрированная локальная сеть позволяет передавать разнотипные сигналы;
- СКС обеспечивает работу нескольких поколений компьютерных сетей;
- интерфейсы СКС позволяют подключать любое оборудование локальных сетей и речевых приложений;
- СКС реализует большой диапазон скорости передачи данных от 100 Кбит/сек речевых приложений до 10 Гбит/сек информационных приложений;

- администрирование СКС сокращает трудозатраты обслуживания локальной сети благодаря простоте эксплуатации;
- компьютерная сеть допускает одновременное использование разнотипных сетевых протоколов;
- стандартизация плюс конкуренция рынка СКС обеспечивают снижение цен комплектующих;
- локальная сеть позволяет реализовать свободу перемещения пользователей без изменения персональных данных (адресов, телефонных номеров, паролей, прав доступа, классов обслуживания);
- администрирование СКС обеспечивает прозрачность компьютерной и телефонной сети – все интерфейсы СКС промаркированы и документированы. Работа организация не зависит от сотрудника-монополиста соединений телефонной сети.

Надежная и долговечная структурированная кабельная система является фундаментом локальной сети. Однако всякое достоинство имеет обратную сторону. Стандарты СКС рекомендуют избыточность количественных параметров системы, что влечет существенные единовременные затраты. Зато можно забыть о кошмаре перманентного ремонта действующего офиса для наращивания компьютерной сети под текущие потребности.

Стандарты СКС

Стандарты определяют структуру СКС, рабочие параметры конструктивных элементов, принципы проектирования, правила монтажа, методику измерения, правила администрирования, требования телекоммуникационного заземления.

Администрирование СКС включает маркировку портов, кабелей, панелей, шкафов, других элементов, а также систему записей, дополняемую ссылками. Вместе с продуманной организацией кабелей, заложенной на этапе создания кабельной системы, система администрирования позволяет поддерживать хорошую организацию локальной сети. Стандарты СКС 2007 года считают наличие администрирования одним из условий соответствия смонтированной системы требованиям стандартов.

СКС определяются международными, европейскими и национальными стандартами. Стандарты СКС адресованы

строителям-профессионалам. В России СКС чаще создают специализированные фирмы.

Подсистемы СКС

Стандарт ISO/IEC 11801 подразделяет структурированную кабельную систему на три подсистемы:

- магистральную подсистему комплекса зданий;
- магистральную подсистему здания;
- горизонтальную подсистему.

Магистральная подсистема СКС и телефонная сеть

Магистральная подсистема комплекса зданий соединяет кабельные системы зданий.Магистральная подсистема здания соединяет распределительные пункты этажей.

Магистральная подсистема включает информационную и речевую подсистемы СКС. Основная среда передачи информационной подсистемы – оптоволокно (одномодовое или многомодовое), дополняемое симметричными четырехпарными кабелями. Если длина магистральной линии не превышает 90 метров, применяют симметричные кабели категории 5 и выше. При большей длине для информационных приложений, то есть компьютерной сети, требуется прокладывать оптоволоконный кабель.

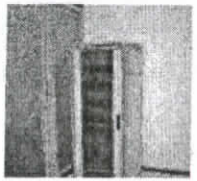
Речевые приложения магистрали здания работают по многопарным кабелям. Речевые приложения, создающие телефонную сеть, относятся к низшим классам СКС. Это позволяет увеличивать длину линий магистральной подсистемы, создаваемых многопарными кабелями, до двух-трех километров.

Горизонтальная подсистема СКС и компьютерная сеть

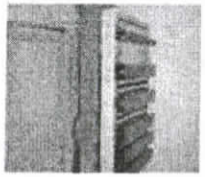
Горизонтальная подсистема СКС включает распределительные панели, коммутационные кабели распределительных пунктов этажа, горизонтальные кабели, точки консолидации, телекоммуникационные разъемы. Горизонтальная подсистема обеспечивает локальную сеть для абонентов, предоставляет доступ к магистральным ресурсам. Среда передачи горизонтальной подсистемы – симметричные кабели не ниже категории 5. Стандарты СКС 2007 года предусматривают для центров обработки

охлаждают вентиляторами.Удобство эксплуатации локальной сети зависит от качества организации, наличия маркировки СКС. Стандартная цветовая маркировка позволяет различать назначение портов панелей. Цвет говорит о принадлежности порта к магистральной подсистеме комплекса, магистральной подсистеме здания, горизонтальной подсистеме, подсистемам, не относящимся к СКС.

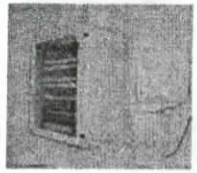
Напольный шкаф



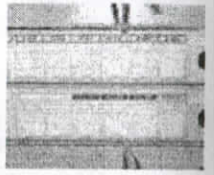
Стойка



Настенный шкаф



Фрагмент панели



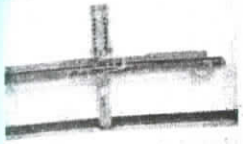
Цветом выделяют интерфейсы внешних подсистем, обозначают порты компьютерных и телефонных сетей. На фото линии магистральной информационной, горизонтальной, а также сигнальной подсистем маркированы согласно требованиям стандарта TIA/EIA-606-A. Первая цифра маркировки обозначает номер панели, вторая — номер порта панели. При этом соответствие номера портов розеток и панелей такое же, как номера соединяющих их кабелей.

Система телекоммуникационного заземления

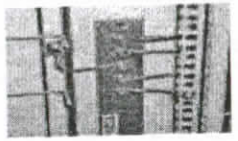
Телекоммуникационное заземление должно быть установлено во всех СКС независимо от наличия экранированных линий. Такое требование определено стандартом J-STD-607-A 2002 года «Совместный стандарт. Требования по заземлению телекоммуникационных систем коммерческих зданий».

Основное назначение заземления – безопасность персонала, защита магистралей, а также оборудования от воздействия грозовых разрядов, обеспечение балансировки приемо-передатчиков локальной сети. Внутренние шины заземления телекоммуникационного оборудования (мультиплексоры, оптоэлектронные устройства), УАТС должны подключаться к системе телекоммуникационного заземления.

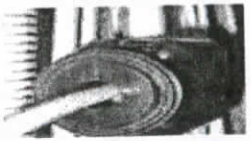
ГТШЗ



ТШЗ



Магистраль заземления



Телекоммуникационные шины заземления (ТШЗ) устанавливают в каждом распределительном пункте возле шкафов / стоек. Шины распределительных пунктов соединяют магистралями заземления с главной телекоммуникационной шиной заземления (ГТШЗ), устанавливаемой рядом с электрическим терминалом заземления. Современные стандарты рекомендуют увеличивать площадь сечения проводника магистрали заземления при увеличении длины магистрали. Максимальное рекомендуемое сечение может составлять 3/0 AWG или 90 кв.мм. Ответвления магистрали выполняются изотермической сваркой или неразъемным соединением.

Часто приходится сталкиваться с отсутствием или ненадлежащим исполнением систем заземления в старых постройках. Проектирование системы телекоммуникационного заземления не требует устранения недостатков электрического заземления. Когда эквипотенциальность заземления не обеспечена, реализуется принцип «эффективного экранирования».

Система электропитания

В большинстве случаев для работы компьютерной сети требуется обеспечить электропитание устройств, подключаемых к телекоммуникационным разъемам. На каждом рабочем месте устанавливают силовые розетки. Одни розетки служат для подключения компьютеров и оргтехники, другие – бытовых электроприборов. Такое разделение систем позволяет организовать централизованное гарантированное электропитание.

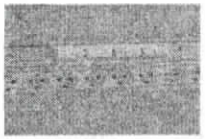
Известно, что прокладка силовых кабелей параллельно информационным ухудшает качество передачи данных по слаботочным линиям, что может вызвать сбои локальных сетей. Для уменьшения этого влияния требуется выдержать минимально допустимые расстояния параллельной прокладки, зависящие от напряжения, мощности нагрузки. Монтаж силовых и слаботочных

сетей одним подрядчиком позволяет решить проблему электромагнитной совместимости, уменьшить инвестиционные затраты.

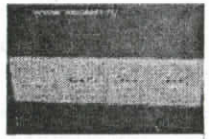
Варианты установки розеток

Силовые и телекоммуникационные розетки могут быть установлены в коробах, накладных розетках, стенах, телекоммуникационных колоннах, напольных лючках. На фотографиях изображены варианты размещения телекоммуникационных разъемов (ТР) с блоками силовых розеток. Самый распространенный вариант создания кабель каналов – пластиковые короба. Для фиксации коробов используют стены, офисную мебель, даже потолки. Короба высотой более 80 мм удобны для размещения розеток. Узкие короба дополняют настенными подрозетниками. Группы розеток могут быть отмечены маркировкой или цветом вставок. Например, красные вставки для питания компьютерной сети, белые – подключение бытовых электроприборов.

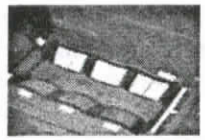
Телекоммуникационные колонны, напольные стойки, напольные лючки применяются реже. Причина — более высокая стоимость таких решений.Самый дешевый вариант — встроенные розетки. Он также является наиболее эстетичным. Реализация такого способа монтажа розеток оптимальна при строительстве или ремонте офиса. Альтернативный недорогой вариант — установка настенных подрозетников, прокладка мини-коробов.



Короб



Встроенные



Лючок.

Колонна

Тестирование и гарантии

Мнение о том, что тестирование СКС — это формальная процедура, весьма распространено. Многие заказчики считают, что измерение параметров линий это гарантийная процедура. Это верно, но только наполовину. Во-первых, тестирование позволяет

обнаружить скрытые дефекты, которые могут быть незамеченными. Во-вторых, это единственная возможность избежать проблем работы приложений компьютерной сети.

Вопреки распространенному мнению о полном соответствии стандартов СКС требованиям сетевых протоколов это заблуждение. Параметры среды передачи ниже требований приложений. Стандарты СКС классов D (100 МГц), E (250 МГц) и F (600 МГц) предусматривают нулевое – отрицательно отношение затухания / суммарных наводок на верхней границе частотного диапазона. Для рабочих пар приложений класса D, реализуемых в компьютерных сетях, отношение сигнал / шум во всем диапазоне частот должно быть не менее 10-19 дБ, то есть на один – два порядка лучше, чем предусматривают стандарты СКС. Более того, некоторые приложения класса D работают в полосе частот более 100 МГц, определяемых категорией 5e. Диапазон частот 1000BASE-T Gigabit Ethernet составляет 125 МГц, ATM 155 – 155 МГц. Таким образом, СКС может соответствовать стандартам, но не обеспечивать работу ряда приложений локальной сети по параметру коэффициента битовых ошибок (BER – Bit Error Rate). При этом уменьшается скорость передачи данных вплоть до "зависаний" компьютерной сети.

Качество передачи сигналов по каналам СКС обеспечивается благодаря резерву параметров. Чтобы проверить, достаточен ли резерв, проводится тестирование соответствия сетевым протоколам. Например, при использовании кабельного анализатора Fluke (пример отчета), подтверждается соответствие базовой линии / канала одиннадцати сетевым протоколам. Это означает возможность использования также любых приложений низших классов.

Создание кабельной инфраструктуры современных зданий

Современная кабельная инфраструктура может быть незаметна в рабочей области, но ее значение трудно переоценить. Это основа обеспечения комфортной работы, повышения эффективности работы и безопасности организации, снижения эксплуатационных расходов, улучшения взаимодействия внутри компании и качества обслуживания клиентов.

Кабельная инфраструктура современных офисных зданий включает системы электропитания и освещения, СКС, системы безопасности и другие слаботочные системы.

7.6. Место развёртывания сети FTTH

Задача подключения конечного пользователя по волокну может потребовать наличие волоконно-оптической инфраструктуры, расположенной в местах общего или частного пользования

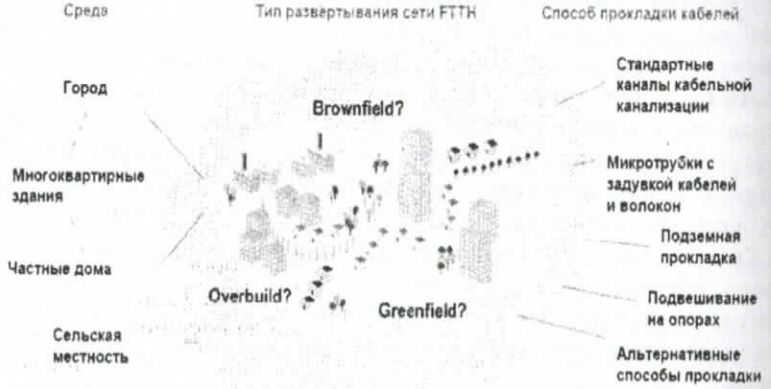


Рисунок 7.12: Тип развёртывания сети FTTH

Физически среда развёртывания сети FTTH может быть разделена на:

- Город
- Коттеджный посёлок
- Сельская местность
- Типы зданий и населённость – частные или многоквартирные дома

Необходимо учитывать, что физическая среда развёртывания сети зависит не только от различной плотности застройки (на кв.км), но и от специфичных условий (типов) застройки. Именно эти типы застройки являются ключевым фактором выбора архитектуры сети. Определены следующие типы застройки:

- **Greenfield** – новостройки, где развёртывание сети будет происходить одновременно со строительством домов

- **Browfield** – здания уже построены, но имеют устаревшую кабельную инфраструктуру
- **Overbuild** - здания уже построены и имеют современную кабельную инфраструктуру

На метод развёртывания инфраструктуры сети также влияют:

- Месторасположение сети FTTH
- Размер сети FTTH
- Первоначальная стоимость строительства инфраструктуры сети (CAPEX)
- Текущие расходы на эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание сети (OPEX)
- Архитектура сети, например, PON или активный Ethernet
- Местные условия, к примеру, уровень оплаты труда, и т.п.

Выбор метода и технологии развёртывания сети будет определять CAPEX и OPEX в равной степени, как и надёжность всей сети. Эти средства могут быть
оптимизированы путём выбора наиболее подходящего решения для определения типа активного оборудования в комбинации с наиболее подходящими способами строительства сети.

Эти способы описаны далее и включают в себя использование:

- стандартных оптических кабелей и каналов кабельной канализации
- технологии пневмопрокладки волокон в микротрубках
- кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт
- кабелей, подвешиваемых на опорах
- других «нетрадиционных» методов прокладки кабелей

Ключевые функциональные требования к сети FTTH:

- Обеспечить высокоскоростную передачу данных к каждому абоненту
- Обеспечить гибкость архитектуры сети для возможного усовершенствования в будущем
- Обеспечить прямое подключение каждого абонента к активному оборудованию через волокно, гарантируя максимально возможную ёмкость для добавления новых услуг в будущем.

При проектированиии и строительстве сетей FTTH необходимо понимать

взаимоотношения между владельцами сетей и операторами, во избежание
возникновения каких-либо конфликтов из-за функциональных или экономических
требований

Архитектура сети FTTH

Наибольшее распространение получили два способа (топологии) организации
сети доступа FTTH – «точка-много точек» на базе пассивной оптической сети PON и «точка-точка», которая обычно использует Ethernet технологии.

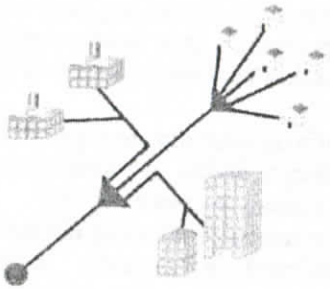


Рис. 7.13: Пассивная оптическая сеть Ethernet

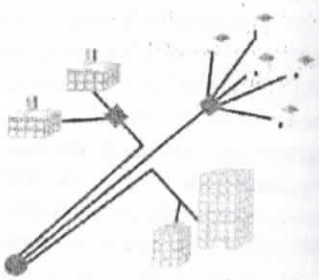


Рис. 7.14: Активный

В топологии «точка-точка» для распределения оптического сигнала используются активные сетевые устройства (коммутаторы, маршрутизаторы, мультиплексоры), в результате чего трафик, исходящий из оборудования, расположенного в точке присутствия (POP), направляется непосредственно тому пользователю, которому он адресован. Другими словами, в этом случае имитируется оптическое соединение «точка - точка». Наибольшее распространение в таких сетях получил протокол Ethernet, а сами сети стали называться «активными оптическими Ethernet-сетями» или активным Ethernet. Такая топология может также включать в себя технологии PON путём размещения ***пассивных оптических разветвителей (сплиттеров)*** в точке доступа. Топология «точка - много точек» с пассивными оптическими разветвителями использует стандартизированные технологии PON: GPON, широко

развивающаяся в Европе; и EPON, наиболее популярная в Азиатских странах.

Волокно до абонента (FTTH) – каждый абонент подключается по отдельному волокну напрямую к порту активного оборудования, расположенного на сетевом узле; или подключается к порту активного оборудования через пассивный оптический разветвитель в случае использования топологии «точка – много точек».

Волокно до здания (FTTB) – каждый оптический распределительный бокс(обычно размещаемый в подвале или на чердаке здания) подключается по волокну напрямую к порту активного оборудования, расположенного на сетевом узле; или подключается к порту активного оборудования через пассивный оптический разветвитель. Абонент подключается к боксу (коммутатору) не с помощью волокна, а с помощью медножильной вертикальной разводки. В некоторых случаях коммутатор не подключается индивидуально к сетевому узлу, а подключается к транспортой сети или кольцу для использования существующих волокон стандартных топологий. Такое решение также уменьшает количество волокон и портов на сетевомузле.

Волокно до шкафа (FTTC) – каждый коммутатор или DSL мультиплексор (DSLAM) размещается в шкафу наружной установки и подключается к сетевому узлу с помощью одного или пары волокон, передающих агрегированный трафик с использованием технологий Gigabit Ethernet или 10 Gigabit Ethernet. Абоненты подключаются к шкафу с помощью медножильных кабелей, при этом коммутация выполняется с помощью трансиверов 100BASE-BX10, 1000ASE-BX10или VDSL2. Такую архитектуру иногда называют «Активный Ethernet», поскольку элементы активного оборудования размещаются в точках, удалённых от сетевого узла. Однако, в Руководстве будут отображаться методы построения сетей FTTH/B, поскольку в течении долгого времени эти технологии рассматривались как целевые из-за их неограниченной возможности модульного наращивания в рамках унифицированной архитектуры.

Пассивная оптическая сеть (PON) и технологии Ethernet «точка-точка» были развёрнуты по всему миру. Выбор той или иной технологии зависит от многих факторов, включая демографическую ситуацию и географическое расположение сети,

специфические параметры развёртывания, капиталовложения и т.п. В частности, выбранное решение в большой степени зависит от лёгкости построения пассивной инфраструктуры сети. При этом ясно, что на современном рынке телекоммуникаций обе технологии являются приемлемыми.

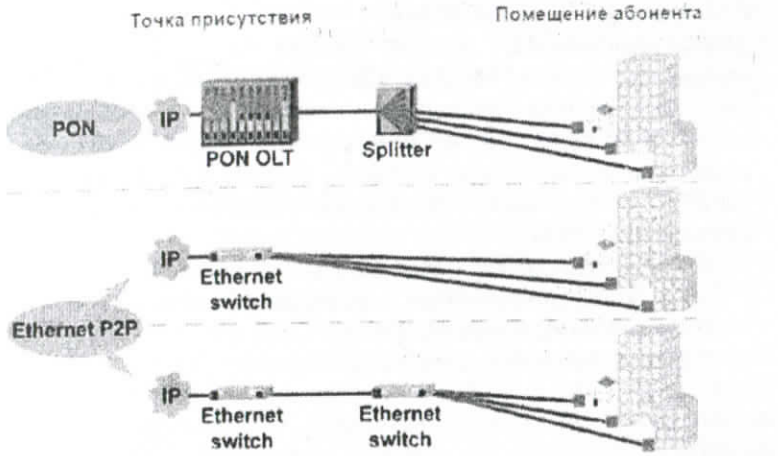
Активное оборудование

В многоквартирных домах подключение конечных пользователей к внутридомовому коммутатору может выполняться с помощью медножильного кабеля или оптического волокна. Однако волокно является только альтернативным решением, которое гарантирует выполнение требований по увеличению пропускной способности в будущем. В некоторых решениях предоставляется второе волокно для передачи видеосигнала; в других случаях к абоненту подводится несколько волокон (от 2 до 4), чтобы иметь конкурентное преимущество и возможность развития в будущем.

Пассивная оптическая сеть

Оборудование пассивной оптической сети (PON) включает в себя оптическийтерминал OLT (*optical line terminal*), который располагается на сетевом узле/точке присутствия (POP) или на АТС. Каждое волокно из сетевого узла направляется к пассивному оптическому сплиттеру, и затем выполняется разветвлённое подключение до 64-х конечных пользователей, каждый из которых имеет оптический сетевой модуль ONU (*optical network unit*) в

точке оконечивания волокна. Модуль ONU может быть различных типов, включая версию для размещения внутри зданий, которая применяется для подключения большого количества абонентов; либо объединяющую в себе существующую кабельную инфраструктуру (CAT5/Ethernet).



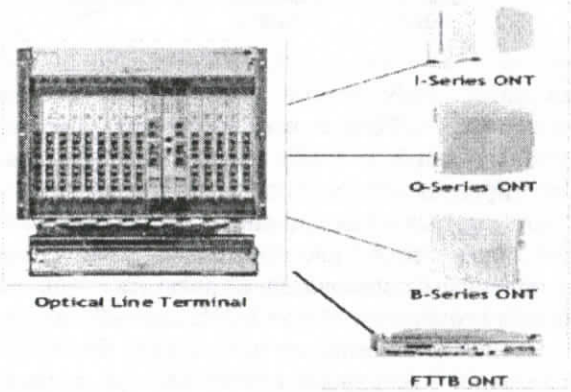
Преимущества сетей PON – это уменьшение числа волокон, прокладываемых между АТС и сплиттерами, отсутствие активного оборудования между OLT и ONU, возможность динамического распределения пропускной способности, что приводит к уменьшению капитальных и операционных затрат. Важно заметить, что последняя часть сети, расположенная между последним сплиттером и конечным пользователем, является точно такой же, как и для решений «точка-точка» или PON: каждый подключаемый абонент будет соединён с помощью одного (или более) волокон с точкой расположения последнего сплиттера, называемой точкой концентрации волокон FCP (*fiber concentrationpoint*) или FFP (*fiberflexibilitypoint*). При этом единственная особенность сетей PON – это то, что количество волокон между FFP и сетевым узлом POP может быть со временем значительно увеличено. Это особенно касается зданий, имеющих устаревшую кабельную инфраструктуру, где ресурсы построенной сети (неподключенные волокна и/или свободное место в кабельных каналах) можетбыть

использованы, при этом экономя средства и время развёртывания сети.

Активное оборудование PON

Стандартное оборудование PON включает в себя приемопередающий модуль (OLT) и оптические сетевые терминалы (ONU). Модуль OLT, как правило, размещается на сетевом узле или точке присутствия (POP). Платы модуля OLT могут управлять до 8 200 конечных пользователей (до 64 пользователей по одному волокну). Оптические сетевые терминалы (ONU) могут быть различных типов в зависимости от месторасположения:

- ❖ Расположение внутри помещений (I-серии)
- ❖ Расположение снаружи помещений (O-серии)
- ❖ Бизнес применение (B-серии)
- ❖ Применение для сетей FTTB.



В зависимости от применения сетевые терминалы ONU могут обеспечивать аналоговое телефонное соединение (POTS), Ethernet подключение, RF видео, а также, в случае FTTB – VDSL2 или Ethernet подключения. Согласно рекомендациям института IEEE оборудование на стороне абонента всегда называется ONU, однако в контексте технологий GPON и X-GPON было решено

использовать термин ONU как общий, а термин ONT, как непосредственно активное устройство, установленное на стороне одного абонента. Такое определение не всегда применяется во всех случаях; любое устройство, которое является конечной точкой оптической сети всегда определяется как ONT (*optical network termination*). В этом документе не указаны какие-либо предпочтения по использованию того или иного термина, поэтому оба определения будут использоваться в равной степени в зависимости от их наиболее понятного смысла.

Оборудование, устанавливаемое на стороне абонента

В недавнем времени подключение компьютеров к интернету осуществлялось с помощью простых и дешёвых модемов. В наши дни заметно резкое увеличение различных цифровых устройств в доме, включая компьютеры, цифровые камеры, DVD проигрыватели, игровые консоли, и т.п. Наступила эра «цифрового дома». На стороне абонента устанавливается два отдельных устройства: оптический модуль (ONT), где происходит оконечивание волокна; и абонентское активное оборудование (CPE), которое обеспечивает приём и обработку сигналов, поступающих из сети. Оба эти устройства могут быть отдельными блоками или интегрированы в один общий блок в зависимости от разграничения зон ответственности между поставщиком услуг и конечным пользователем.

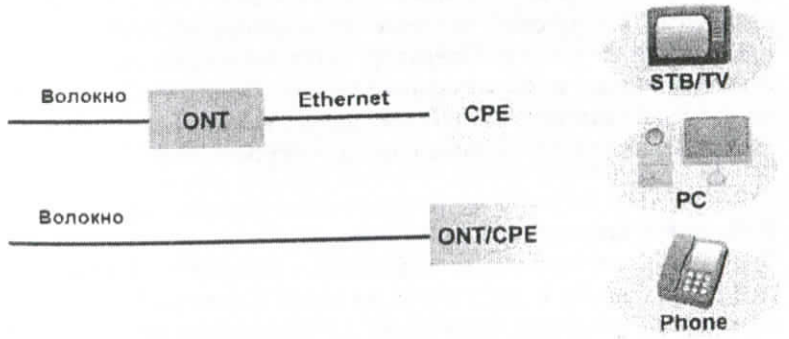


Рис. 7.15 Возможные конфигурации оборудования устанавливаемого на стороне абонента

С появлением новых, более современных технологий и устройств возникла концепция абонентского устройства. CPE теперь позволяет комбинировать широкий диапазон различных возможностей сети, включая такие опции и услуги, как оконечивание волокон, маршрутизация, беспроводной LAN (Wi-Fi), трансляция сетевых адресов NAT (*Network Address Translation*), охранные и пожарные системы, а также возможность поддержки услуг VoIP и IPTV. Существует два сценария выбора абонентского устройства поставщиками услуг:

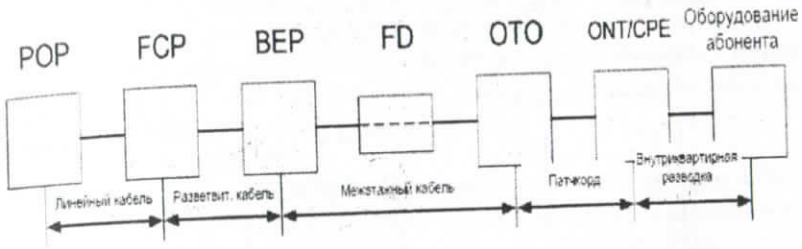
1.CPE, как граница разделения зон ответственности абонента и поставщика услуг CPE является частью оборудования, поставляемогооператором. CPE выполняет функции оконечивания входящего волокна и подключает абонента к предоставляемым услугам. Поставщик услуг является собственником устройства CPE, осуществляет его техническое обслуживание, а также контролирует качество передаваемых услуг, включая контроль пассивной части сети. Абонент подключает свою домашнюю сеть и устройства напрямую к CPE.

2.Сетевой интерфейс, как граница разделения зон ответственности абонента и поставщика услуг ONT поставляется и обслуживается оператором, при этом Ethernet порты в модуле ONT являются границей зоныответственности оператора. Абонент сам подключает свою сеть илиспецифичные устройства к портам ONT.Типичная ситуация, когда используется второй сценарий – это открытая илиобщая сеть доступа, где существуют различные операторы, которые подключаютабонента к сети и предоставляют услуги. Оператор, подключающий абонента ксети, отвечает только за оконечивание волоконно-оптической линии, но не запредоставление каких-либо услуг, например, телефонии или видео. Такие услугипредоставляет другой оператор

Кабели внутридомовой разводки

Участок внутридомовой кабельной разводки начинается от распределительного устройства на входе в здание и заканчивается оптическим модулем (розеткой), устанавливаемым в помещении абонента.

Модель построения внутридомового участка сети



Элементы инфраструктуры сети

- **POP (*Point of Presence*)** – сетевой узел или точка присутствия
- **FCP (*Fibre Concentration Point*)** – точка распределения волокон
- **BEP (*Building Entry Point*)** – точка входа в здание
- **FD (*Floor Distributor*)** – этажное распределительное устройство
- **OTO (*Optical Telecommunications Outlet*)** – оптическийабонентскиймодуль
- **ONT (*Optical Network Termination*)** – оптическийсетевойтерминал (модем)
- **CPE (*Customer Premise Equipment*)** – оборудованиеабонента, подключаемоексети

Внутридомовая кабельная разводка может быть двух типов:

1.Прямое подключение абонента с помощью кабеля абонентской разводки («точка-точка»).

2.Межэтажное распределение волокон с/без использования этажных распределительных боксов Кабельный участок между точкой входа в здание (BEP) и этажным распределительным боксом или оптическим абонентский модулем называется ***межэтажной разводкой***.

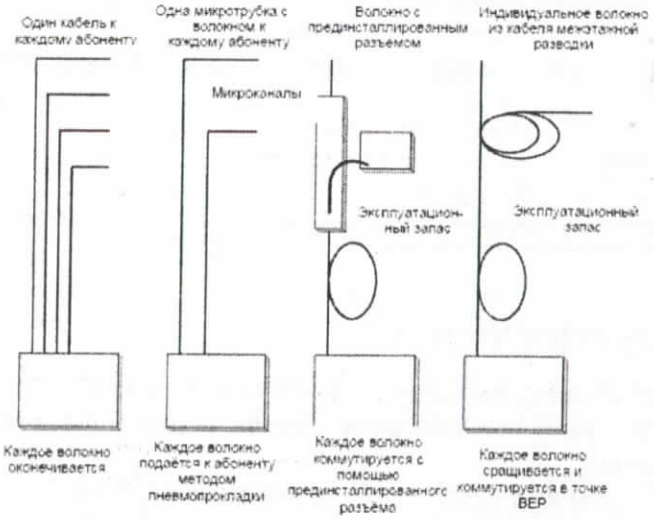


Рис. 7.16: Пример внутридомовой кабельной разводки

Кабели межэтажной прокладки или микротрубки для пневмопрокладки волокна обычно прокладываются в зданиях по существующим кабельным стоякам или каналам. Кабель межэтажной прокладки обычно оконечивается в устройстве, устанавливаемом в подвальном помещении или на техническом этаже здания. В зависимости от архитектуры сети, количества волокон, необходимых для подключения абонента, а также количества жилых помещений в здании, кабели межэтажной прокладки могут иметь различную структуру: индивидуальное волокно в покрытии или группа индивидуальных волокон под одной общей внешней оболочкой. Поскольку эти кабели прокладываются в достаточно сложных условиях (к примеру, с резкими поворотами через узкие каналы), то в конструкции кабелей используется новый тип волокон, не чувствительных к макроизгибам.

Точка входа в здание ВЕР (*Building Entry Point*)
Точка входа в здание ВЕР представляет собой устройство для соединения волокон кабелей внешней прокладки с волокнами

кабелей внутренней прокладки. Соединение волокон может быть сварным или разъёмным.

Этажное распределительное устройство FD (*Floor Distributor*)
Этажное распределительное устройство служит для соединения волокон вертикального межэтажного кабеля с волокнами кабелей горизонтальной абонентской разводки.

Внутридомовая разводка
Служит для соединения точки ВЕР с абонентским модулем ОТО. Основной элемент внутридомовой разводки – это оптический кабель стандартной конструкции или с микротрубками для пневмопрокладки волокна.

Оптический абонентский модуль ОТО (*Optical TelecommunicationsOutlet*)

Абонентский модуль ОТО служит для оконечивания волокон кабеля горизонтальной абонентской разводки. Модуль ОТО комплектуется оптическим коннектором для подключения патчкорда, приходящего от абонентского активногооборудования ONT/CPE.

Оптическийсетевойтерминал ONT (*Optical Network Termination*)
Терминал ONT располагается в помещении абонента и служит для преобразования оптического сигнала, приходящего из сети FTTH, в электрический сигнал.

Оборудование абонента, подключаемое к сети CPE/SPE (*CustomerPremise Equipment*)

Оборудование абонента, подключаемое к сети – это дополнительное устройство, позволяющее абоненту получать доступ к услугам, передаваемым по сети FTTH(высокоскоростной интернет, телевидение, телефон и т.п.). Очень частооборудование CPE является частью сетевого терминала ONT.

Внутриквартирная кабельная разводка

Внутриквартирная кабельная разводка позволяет абоненту подключить любое устройство (телевизор, компьютер, телефон и т.п) к сетевому терминалу.

Оборудование абонента

Оборудование абонента (телевизор, компьютер, телефон и т.п.), которое
позволяет пользоваться услугами, передаваемыми по сети FTTH

Контрольные вопросы:

1. Определение оптической связи?
2. Достоинство волоконно- оптической линии связи?
3. Принцип построения ВОСП?
4. Использование волоконной оптики в транспортной сети?
5. Использование волоконной сети в сетях абонентского доступа?

8. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЛС

В начальной стадии экономической части составляется спецификация на оборудование, устанавливаемое на магистрали.

При этом учитываются:

- наценки на транспортные расходы;
- заготовительно-складные расходы;

После составления спецификации на оборудование, подготавливается смета на строительство магистрали. В нее входят:

- монтажные работы;
- стоимость материалов, устанавливаемая фирмой-изготовителем;
- прочие расходы и затраты;

Определив стоимость оборудования по специализации со стоимостью работ по сооружению кабельной линии по ориентированным данным измерений подсчитывается стоимость одного канало/километра связи, которая рассчитывается по формуле:

$$C_{1kk} = \frac{C}{N \cdot L} y.e./км, \qquad (8.1)$$

где C_{1kk} – стоимость одного канала/километра связи
N – число каналов (для уровня STM-4 (или любого другого модуля STM))
L – протяженность магистрали
C – стоимость оборудования и работ по смете.

8.1. Прокладка в грунт

В данном виде работ учитывается наличие имеющихся подземных сооружений (других кабелей связи, силовых кабелей, трубопроводов и т.д.) и наземных препятствий (шоссейные и железные дороги, реки, болота, леса, овраги, пересечения с линиями электропередачи и др.). Данный учет связан со стоимостью работ на проектные изыскания трассы. Так же определяются места размещения необслуживаемых регенерационных пунктов, пунктов доступа к ОК, оптических муфт и т.д.

Итак, необходимо учесть затраты на строительство, связанное с входным контролем ОК, заработной платой, затратами на

материалы и оборудование, комплектующие изделия, транспортными расходами (наличие пропорщика, доставка рабочих, необходимого материала и пр.), затраты по работам, выполненным сторонними организациями и предприятиями, общестроительными работами, непредвиденными расходами.

В таблице 8.1 указывается стоимость работ и оборудования по смете в у.е (unitedstatesdollar). Сумма в рублях рассчитывается по курсу Центробанка России на момент составления сметы. По ходу расчета каждого пункта суммарная стоимость на затраты записывается в таблицу 8.1 и как итог, подсчитываются общие затраты на прокладку ВОЛП.

Таблица 8.1
Пример сметы на строительство проектируемой ВОСП на 100 км трассы

№ п/п	Наименование статей расходов	Сумма, USD
1.	Заработная плата	6460
2.	Затраты по работам, выполненным сторонними организациями ипредприятиями (либо своими высококвалифицированными рабочими)	85000
3.	Материалы и оборудование, комплектующие изделия	461007
4.	Прочие расходы	150000
	Итого:	***703000***

Заработная плата

Заработная плата рассчитывается в зависимости от количества рабочих, ответственных исполнителей, руководителей и прочих рабочих мест.

Время на прокладку в грунт рассчитывается из соответствия: 2 ± 1 км в день на одну бригаду, в зависимости от состояния грунта, времени года, количества человек.

Бригада формируетсяобычно из соотношения: одна бригада на 50-100 км трассы и расставляются через каждые 25-50 км. Среднее количество человек в бригаде принять равным 4

Руководитель проекта- один человек.

Ответственный исполнитель- один человек на 300 км трассы З/п на период выполнения проекта рассчитывается по формуле:
(кол-во человек) • (з/п при 100% занятости по проекту) • (время работы [мес.])

Таблица 8.2
Пример статьи «Заработная плата» в расчете на 100 км трассы

КолвоЧеловек	Должность(руководитель,исполнитель и т.д.)	з/п при 100%занятостипо проекту(USD./мес.)	Времяработы(мес.)	З/п на периодвыполненияпроекта (USD)
1	Руководитель (1 человек)	1600	1	1600
1	Ответственный исполнитель (1 чел)	780	1	780
8	Рабочие (2 бригады)	510	1	4080
Итого:				***6460***

Затраты на работы сторонних организаций

В данном пункте учитываются затраты на проведение работ организацией исполнителем, включающие в себя работу по сдаче трассы в эксплуатацию и проверке ее на проф. пригодность (удовлетворение необходимым параметрам: качество связи, пропускная способность, соблюдение норм и техники безопасности), а так же затраты на монтаж соединений (сварка, монтаж муфт, установка оптических ответвителей от главной трассы и пр.). Принять примерно равной 85000 $ на 100 км трассы

Таблица 8.3
Пример статьи «Затраты по работам сторонних организаций» на 100 км трассы

Название работ, выполняемых сторонней организацией (либо своими высококвалифицированными рабочими)	Организация - исполнитель	Сумма, USD
Монтаж соединений, измерения в процессе строительства и сдачи эксплуатацию.	ООО «Связь – Сервис»	85000
Итого:		***85000***

Материалы, оборудование, комплектующие изделия

В таблице 8.4 указана примерная стоимость (в расчете на единицу длины) материалов для прокладки ОК в грунт. Студент сам выбирает ***тип ОК.*** Стоимость ***монтажа ОК***будет варьироваться в зависимости от организации исполнителя.

Количество материалов в данной таблице указано из расчета на длину трассы в 100 км.

Кабельный барабанвыбирается из расчета: один барабан на 25 км трассы.

Муфта разветвительная- одна муфта на один элементарный кабельный участок трассы (один ЭКУ - 2, 4 или 6 км). В данном случае один ЭКУ - 4 км.

Сплайс-кассета- одна кассета на одну муфту

Прецизионный скалыватель- один скалыватель выдается один на одну бригаду. В данном примере (табл. 8.4), на 100 км трассы у нас 2 бригады. Следовательно необходимо 2 скалывателя.

Сварочный аппарат и рефлектометрберется один на одну трассу (достаточно дорогое оборудование для покупки его в больших количествах).

Измеритель мощности, комплект инструментов для разделки и монтажа ВОЛС - один на одну бригаду.

Шкаф монтажный напольный, сервер (рабочая станция)- один на 300 км трассы, с учетом того что на оконечных станциях трассы так же необходимо по одному шкафу и серверу.

Оптический ответвитель- количество зависит от пунктов, необходимых для отвода в них оптической мощности. Принять необходимость одного ответвителя на 200 км трассы.

Коннектор- их количество вдвое больше количества регенераторов на трассе.

Количество регенераторов- рассчитывается из отношения длины трассы к количеству регенерационных участков. (Студент рассчитывает длину регенерационного участка.Примерная длина изменяется в пределах 60 - 115 км)

Передающий и приемный оптический модуль- один на трассу (регенератор в свою очередь уже включает в себя наличие этих модулей для восстановления и последующей передачи сигнала).

ПК (для управления сервером), программное обеспечение- зависит от количества серверов в соотношении 1:1.

ИБП- один источник бесперебойного питания на один регенератор, плюс по источнику на каждый оконечный пункт.

Кабель UTP 4 пары кат. 6 - длина на один оконечный пункт принимается равной 300м.

Таблица 8.4
Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы изменения	Кол-во	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Кабель оптический для прокладки в грунт километр бронированный стальной проволокой ИКП...	километр	100	1600	160000
Монтаж ВОК	километр	100	2000	200000
Барабан кабельный	шт.	4	210	840
Муфта разветвительная	шт.	25	130	
Сплайс-кассета универсальная на X ОВ (X - количество оптических волокон)	шт.	25	5	125

Прецизионный скалыватель для оптических волокон	шт.	2	1010	2020
Сварочный аппарат магистральных линий связи	шт.	1	11700	11700
Рефлектометр	шт.	1	18600	18600
Измеритель мощности	шт.	2	2060	4120
Комплект инструментов для разделки и монтажа ВОЛС	шт.	2	1200	2400
Шкаф монтажный напольный	шт.	2	750	1500
Ответвитель оптический	шт.	1	80	80
Коннектор (указывается тип коннектора)	шт.	2	6	12
Регенератор	шт.	1	1900	1900
ПОМ	шт.	1	880	880
ПРОМ	шт.			
Сервер (тип рабочей станции)	штука	2	23300	46600
ПК (для управления сервером)	комплект	2	1000	2000
Программное обеспечение	пакет	2	3300	6600
ИБП	комплект	3	200	600
Кабель UTP 4 пары кат. 6	300 метров	2	0,7	420
Итого:				***461000***

Прочие расходы

При учете иных расходов учитывается входной контроль и проектные изыскания. Стоимость контроля и изысканий взять из таблицы 8.5 (здесь указана примерная стоимость контроля и изысканий в расчете на 100 км трассы).

Транспортные расходы, наценки на содержание, заготовительноскладские расходы, а так же накладные расходы рассчитываются ***в процентном соотношении от суммарной стоимости материалов, оборудования и комплектующих изделий (табл. 8.4).***

Студент сам выбирает фирму для обеспечения входного контроля и проектных изысканий, в связи с чем цена на данные пункты варьируется.

Таблица 8.5

Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измене-ния	Кол-во	Стоимость, USD	
			Едини-цы	Общая
Входной контроль		1	6000	6000
Проектные изыскания		1	83000	83000
Транспортные расходы	%	4	4610	18440
Наценки на содержание	%	1	4610	4610
Заготовительно-складские расходы	%	1,2	4610	5540
Накладные расходы	%	7	4610	32300
Итого:				***150000***

Стоимость каналокилометра

Данный расход рассчитывается из соотношения общей стоимости материалов и оборудования (табл. 8.4) к количеству каналов и длине трассы (примерный расчет произведен для суммарной стоимости проекта в 703 000 $, количество каналов

способности сети. Остальные данные берутся в зависимости от длины волоконно-оптической линии передачи.

В таблице 8.7 указана примерная стоимость ОК для перехода через водоемы.

Таблица 8.7

Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измене-ния	Кол-во	Стоимость, USD	
			Едини-цы	Общая
Кабель оптический бронированный стальной проволокой ОМЗКГМ... (переход через водоемы, реки)	километр	100	1800	180000
Итого: (+данные таблицы 8.4 без учёта ИКП...)				***481000***

Прочие расходы

В таблице 8.8 ***указана примерная стоимость на входной контроль и проектные изыскания при проходе через водные преграды.*** Студент в свою очередь сам выбирает фирму для проведения изысканий и учета контроля. Исходя из расценок выбранной фирмы указывается соответствующая стоимость первых двух пунктров (таблица 8.8)

В таблице 8.8 ***указаны, соответствующие прохождению через водные преграды, процентные соотношения***для транспортных расходов, наценок на содержание и пр. в зависимости от суммарных затрат, посчитанных в таблице 8.7

Таблица 8.8

Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измене-ния	Кол-во	Стоимость, USD	
			Едини-цы	Общая
Входной контроль		1	12000	12000
Проектные изыскания		1	166	166000
Транспортные расходы	%	6	4810	28900

Наценки на содержание	%	2	4810	9650
Заготовительно-складские расходы	%	1,7	4810	8200
Накладные расходы	%	10	4810	48100
Итого:				***273000***

Далее проводятся подсчеты общей стоимости прокладки ВОЛП через водную преграду и заносятся в таблицу 8.1

Расчет стоимости каналокилометра

Данные берутся из «***пункта 8.1.5»,*** где Р - общая стоимость данного проекта.

Подвеска ОК на опорах линий связи

В целом используются два основных метода подвески ОК: подвеска самонесущих ОК и подвеска ОК без несущих силовых элементов, с креплением их к существующим несущим элементам (тросам, проводам и др.).

Переходы ОК с одной стороны ж.д. на другую выполняются либо подземным способом с использованием кабельного канала из неметаллических труб, либо по воздуху с подвеской ОК на дополнительно установленных опорах. Расстояние перехода от фундамента ближайшей опоры контактной сети должно составлять не менее 10 м, а угол пересечения переходом железной дороги должен быть близок к 90°.

Оформление сметы на строительство составляется в соответствии с таблицей 8.1.

Заработная плата

При расчете заработной платы, ***принять коэффициент умножения***
равным 0,8(от первоначальной зарплаты - таблица 8.2).

Время на подвеску ВОЛС на опорах линий связи рассчитывается из соответствия: 3 ± 1 км в день на одну бригаду, в зависимости от времени года, количества человек, погодных условий.

Бригада формируетсяиз соотношения: две бригады на 50-100 км трассы и расставляются через каждые 25-50 км. Среднее

количество человек в бригаде принять равным 3(две бригады работают совместно, по одной бригаде на одну опору для ЛЭП).

Руководитель проекта- один человек.

Ответственный исполнитель- один человек на 200 км трассы.

З/п на период выполнения проекта рассчитывается по формуле:

(кол-во человек) • (з/п при 100% занятости по проекту) • (время работы [мес.])

Таблица 8.9

Пример статьи «Заработная плата» в расчете на 100 км трассы

Кол-во	Должность (руководитель, исполнитель и т.д.)	з/п при 100% занятости по проекту (USD./мес.)	Время работы (мес.)	З/п на период выполнения проекта (USD)
1	Руководитель (1 чел)	1280	1	1280
1	Ответственный исполнитель (1 чел)	624	1	624
12	Рабочие (2 бригады)	408	1	4900
Итого:				***6800***

Затраты на работы сторонних организаций

Данные берутся из ***«пункта 8.1.2»*** для таблицы 8.3 с **коэффициентом умножения 0,75**.

Материалы, оборудование, комплектующие

Тип используемого кабеля для подвески на опорах линий связи выбирается студентом в зависимости от требуемой пропускной способности сети. Остальные данные берутся в зависимости от длины волоконнооптической линии передачи.

В таблице указана примерная стоимость ОК для подвески на опорах ЛС.

Таблица 8.10

Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы изменения	Кол-во	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Кабель для подвески на опорах линий связи ИК/Т ...	километр	100	1700	170000
Итого: (+данные таблицы 8.4 без учёта ИКП...)				***471000***

Прочие расходы

В таблице 8.11 указана примерная стоимость на входной контроль и проектные изыскания при подвеске ОК на опорах линий связи. Студент в свою очередь сам выбирает фирму для проведения изысканий и учета контроля. Исходя из расценок выбранной фирмы указывается соответст-вующая стоимость первых двух пунктов (таблица 8.11)

В таблице 8.11 **указаны, соответствующие подвеске на опорах ЛС, процентные соотношения** для транспортных расходов, наценок на содержание и пр. в зависимости от суммарных затрат, посчитанных в таблице 8.10. А так же примерная стоимость входного контроля и проектных изысканий на 100 км трассы

Таблица 8.11

Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы изменения	Кол-во	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Входной контроль		1	5000	5000
Проектные изыскания		1	70000	70000
Транспортные расходы	%	3	4710	14130

Наценки на содержание	%	0,9	4710	4240
Заготовительно-складские расходы	%	1	4710	47100
Накладные расходы	%	6	4710	28300
Итого:				***126400***

Далее проводятся подсчеты общей стоимости прокладки ВОЛП при подвеске на опорах ЛЭП и заносятся в таблицу 8.1

Расчет стоимости каналокилометра

Расчет проводится в соответствии с «**пунктом 8.1.5**», где Р - общая стоимость данного проекта

Вывод:

Исходя из полученный данных возможно определиться с наиболее оптимальным способом прокладки ВОЛП. Стоимость прокладки с наименьшей ценой каналокилометра дает возможность определить экономический исход прокладки ВОЛП.

Сравнение средней стоимости строительства 1-го км.кабеля, емкостью от 8-ми до 24 волокон приведено в приложении.

Приложение

Сравнение средней стоимости строительства 1 -го км оптического кабеля емкостью от 8 до 24 волокон

Емкость кабеля	Стоимость кабеля в у.е	Стоимость СМР в у.е	Стоимость проектирования в у.е,	Стоимость землеотвода в у.е.	Общая стоимость в у.е.	Увеличение стоимости
	1478,4	7000	1500	500	10478,4	
	1717,2	7000	1500	500	10717,2	2,3%
	2014,8	7000	1500	500	11014,8	5,1%
	2469	7000	1500	500	11469	9,5%

Показатель		**I**	**II**	**III**	**IV**
Стоимость строительно-монтажных работ	у.е.	991,7	1137,5	1733,3	1900
Стоимость кабеля	у.е.	1754,2	1708,3	2375,0	2375,0
Стоимость металлоконструкций	у.е.	-	-	433,3	433,3
Стоимость железобетонных изделий	у.е.	-	-	12,5	54,2
Стоимость полиэтиленовой трубки	у.е.	-	812,5	-	-
Стоимость прочих материалов	у.е.	175,0	408,3	395,8	650,0
ВСЕГО	у.е.	2920,8	4066,7	4950,0	5412,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из важнейших проблем телекоммуникационных сетей продолжает оставаться проблема абонентского доступа к сетевым услугам, актуальность которой определяется в первую очередь бурным развитием сети Интернет и широким использованием корпоративных сетей с распределенными ресурсами и задачами на ее основе. Доступ к услугам такой сети требует резкого увеличения пропускной способности сетей абонентского доступа. В свою очередь, любая информационная услуга для качественного ее предоставления определяет свои требования к каналу передачи информации.

Для привлечения большего числа пользователей национальными операторами активно разворачивается создание сетей доступа к своим магистральным сетям. Основным препятствием при этом является наличие огромного числа морально и физически устаревших сетей доступа. Поэтому чрезвычайно актуальной является задача их реализации на основе самых современных высокоскоростных технологий с минимальными затратами при строительстве и монтаже оборудования.

В данном учебном пособии изложены основы организации и назначения систем и сетей телекоммуникаций на основе ВОСС, даются основные понятия, термины и определения, используемые в дальнейшем при изучении материала. Приводится классификация и эволюция развития ВОСС. Раскрывается общий принцип построения ВОЛС, история развития оптической связи Узбекистане, способы передачи информации на расстояние. Кратко приводятся различные виды связи: почтовая, телефонная, телеграфная, факсимильная, звуковое и телевизионное вещание.

Приведена классификация физических сред передачи информации: беспроводные линии, кабельные и оптические линии связи, радиорелейные, спутниковые, воздушно-проводные. Показана эволюция развития коммутационных систем. Организация телекоммуникационных сетей связи в том числе: глобальная, региональная, национальная, зоновая, местные. Кратко излагаются основы технологии, которые развиваются на базе физических сред передачи информации. В приложениях приводится описание истории развития связи в мире и в Узбекистане, приводятся иллюстрации, объясняющие назначение устройств передачи информации таких, как телеграфия, телефония, факс, звуковое вещание, телевидение, Интернет, тесты для проверки, а также задания для самостоятельного изучения и закрепления теоретического материала. Учебник предназначен для преподавателей и учащихся профессиональных колледжей, а также для младшего технического персонала отрасли связи, интересующимся принципами организации передачи информации.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА

В настоящее время в республике продолжаются работы по реконструкции и расширении сети телекоммуникации на основе инвестиционных проектов. Существующая телекоммуникационная сеть представляет собой композицию волоконно-оптических и радиорелейных линий связи. При налаживании новых контактов и поддержке уже установленных «Узбектелеком» придерживается политики долгосрочных партнерских взаимоотношений и обеспечения экономической целесообразности сотрудничества. Для развития ИКТ необхолимо наличие полноценной законодательной базы. Законы действующие в этой сфере, можно разделить на три блока:

1. непосредственно относящиеся к области телекоммуникаций и информатизации;
2. обеспечивающие правовую охрану интеллектуальной собственности;
3. гарантирующие права потребителей информацией.

В первую группу входят законы «О связи» (1992г), «Об информатизации» (1993г), «О радиочастотном спектре» (1998г), «О телекоммуникациях» (1999г).

Во вторую - «Об авторском праве и смежных правах» (1996г), «О правовой охране топологий интегральных микросхем» (2001г), «О правовой охране программ для электронно-вычислительных машин и баз данных» (1994г), «Об изобретениях, полезных моделях и промышленных образцах» (1994г).

В третью - «О защите прав потребителей» (1996г), «О средствах массовой информации» (1997г), «О гарантиях и свободе доступа информации» (1997г).

Для осуществления государственной политики, определения и реализации приоритетных направления внедрения и развития ИКТ в 2002г При правительстве РУз был создан Координационный совет по компьютеризации и развитию ИКТ и Центра развития и внедрения компьютерных и информационных технологий. В целях создания правовых основ развития ИКТ в Узбекистане в 2003-2004гг были приняты законы: «Об электронной цифровой подписи», «Об электронной коммерции» и новый закон «Об

информатизации».Принята Национальная программа развития сети передачи данных и Интернета, разрабатываются проекты программ: «Программа развития телекоммуникаций на период 2003-2010гг», «Программа развития электронной коммерции на период до 2010 года в Республике Узбекистан», «Программа подготовки, переподготовки и повышения квалификации педагогических кадров и специалистов в области ИКТ».Реализация стратегических задач развития компьютеризации и ИКТ осуществляется в соответствии с принятой правительством республики Программой развития компьютеризации и ИКТ на 2002-2010гг

Приложение 2

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ РАЗВИТИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ

№	Год	Автор, место рождения	Технология
1	1870	Итальянский ученый Тиберио Кавалло	Технологии изготовления изолированных проводов
2	1795	Испанский врач Франсиско Сальва	«Проволоки могут быть скручены в кабель и подвешены на высоте, каждая проволока обма тывается пропитанной смолой бумагой. Затем все вместе проволоки скручиваются и обма тываются многими слоями бумаги. Таким обра зом предотвращается утечка электричества».
3	1816	Англия	В траншею глубиной 1,2м был уложен пропитанный смолой деревянный желоб. На дне желоба были расположены стеклянные трубки с пропущенными через них медными проволоками
4	1840	Англия	Проложена телеграфная линия длиной в 30км в чугунных трубах. Были предложения исполь зовать асфальтовые или глиняные трубы и прокладывать их на глубине 0,9м.
5	1841	Россия	Якоби проложил телеграфную линию между Зимним дворцом и зданием Главного штаба в Петербурге. Токопроводящие жилы из отож женной мягкой медной проволоки диаметром 3мм изолировались хлопчатобумажной пряжей в два слоя с последующей пропиткой мастикой из воска, сала и канифоли. Изолированные жилы затягивались в последовательно соединенные узкие жестяные гильзы
6	1844	США	По проекту Морзе была сделана попытка прокладки многожильного кабеля в свинцовой трубе. Был даже сконструирован (инженером

			Эзрой Корнеллом) специальный плуг, который рыл траншею, укладывал в нее кабель и закапывал траншею (это был первый в мире кабелеукладчик)
7	1881	Париж Шиллинг	Экспонировался образец кабельного изделия. Изделие именовалось телеграфным кабелем и состояло из восьми медных проводов, каждый из которых был изолирован слоем каучуковой массы, а все вместе снаружи обернуты лентой, пропитанной каучуком.
8	1835	Париж Шиллинг	Хотя в то время еще не умели производить электрические измерения изоляции, тем не менее Шиллинг установил, что изоляция даже самых лучших образцов его кабеля, проложенного в земле или в воде, сравнительно быстро теряет свои свойства, чем, безусловно, уступает «воздушной» изоляции «голых» проводов, подвешенных на изоляторах, укрепленных на столбах, предложенной им в 1835г, для проведения электрического телеграфа.
9	1940		Первые кабели через водные преграды прокладывали на высоких шестах, установленных на дне водоемов. В конце 1840г были проведены первые опыты по прокладке изолированных гуттаперчей проводов. Для защиты от механических повреждений, лежащего на дне реки или озера кабеля с каждой его стороны, параллельно прокладывали железную цепь или трос.
10	1850		Проложен первый морской кабель через пролив Па-де-Кале.
11	1852		Изобретена броня из 10 стальных проволок
12	конец XIX в		Число трансатлантических магистралей достигло 13. Понадобилось еще 90 лет, чтобы в 1956г начал работать первый телефонный кабель через Атлантику.

13	1876	США	Современные кабели связи для подземной прокладки, своим появлением и развитием обязаны изобретению телефона. 25 июня 1876гБелл впервые публично продемонстрировал свой телефон на Всемирной Электротехнической выставке в Филадельфии.
14	1878		Первым шагом, переходным от телеграфных к телефонным кабелям, явилось предложение содержать кабельные линии с целью защиты от влаги под избыточным давлением парафинового масла. Вторым шагом, было предложение закачивать в кабели газ или воздух.
15	1882		Предложена кордельно-ленточная изоляция жил.
16	1889		Законодательно было принято решение о переходе с однопроводных несимметричных цепей, использующих в качестве обратного провода землю на симметричные цепи из двух жил.9
17	1890-1891		Освоена технология наложения герметичных свинцовых оболочек, что способствовало переходу с пропитки хлопчатобумажной изоляции на сухую воздушно-бумажную изоляцию из манильской бумаги (пенька+джут), которая оставалась единственным видом изоляции до середины XX в.
17	1892		Кордельно -бумажная изоляция.
18	80-е		Для уменьшения индуктивного влияния между цепями и защиты от внешних помех в конце 80-ч годов началось применение скрутки жил в пары и четверки.
19	1920		В двадцатых годах прошлого столетия были сконструированы кабели дальней связи с кордельно-бумажной изоляцией жил и с четверочной скруткой по системе «звезда»

			либо ДП (двойная парная скрутка), позволившие увеличить дальность передачи до 30-40км и улучшить качество связи.
20	1927	США, СССР	Выдано шесть патентов на способ изолирования жил целлюлозной массой. Второй страной в мире применившей этот способ изоляции был СССР.
21	1936		Появляются новые высококачественные диэлектрики: высокочастотная керамика, полистирол, стирофлекс, что привело к созданию нового типа кабелей - коаксиальных. Проложена первая коаксиальная магистраль
22	1940		Начался промышленный выпуск полиэтилена. Хронологически третьим, но сегодня первым по значимости типом изоляции телефонных кабелей является сплошная полиэтиленовая.
23	1948		Появились кабели в оболочке из альпэта.
24	1949	СССР	Была выпущена первая в СССР партия кабеля со шланговой оболочкой из полихлорвинилового пластиката. В 50-е годы стала применяться кордельно-стирофлексная изоляция жил симметричных кабелей, позволившая уменьшить как затухание цепей, так и взаимные влияния между цепями.
25	1964	Английский инженер Георг Додд	Предложил заполнять свободный объем кабелей, на долю которого приходится 40% общего объема сердечника, вязким компаундом на основе продуктов перегонки нефти. Появились «заполненные» или «герметизированные кабели».
26	1970		Развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучение оптического диапазона волн.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Список типовых каналов телекоммуникационных систем передачи.

1. **Канал тональной частоты (КТЧ)** - совокупность технических средств, обеспечивающая передачу сигналов в эффективно передаваемой полосе частот 300-3400 Гц;
2. **Канал звукового вещания** (высшего класса - 30-15000 Гц; первого класса: 50 -10 000 Гц; второго класса: 100-6 300 Гц);
3. **Канал передачи сигналов изображения телевидения** с полосой частот от 50 Гц до 6 МГц;
4. **Канал звукового сопровождения сигналов телевидения** (высшего класса: 30-15 000 Гц, 1 класса: 50-10 000 Гц);
5. **Типовые групповые аналоговые тракты:**

- **первичный** - 60-108 кГц (12 каналов ТЧ);
- **вторичный** - 312-552 кГц (60 каналов ТЧ);
- **третичный** - 812-2044 кГц (300 каналов ТЧ).

6. Типовые каналы передачи цифровых систем передачи:

6.1 основной цифровой канал (ОЦК) с номинальной скоростью передачи 64 кбит/с (канал типа В) - является цифровым эквивалентом канала аналогового канала тональной частоты (ТЧ), так как обеспечивает передачу телефонного сигнала в полосе частот 300 -3400 Гц методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ);

6.2 Цифровой канал абонентского окончания цифровой сети инте-грального обслуживания (ЦСИО-ISDN):144 кбит/с = 2-64 кбит/с + 16 кбит/с = 2В + D, где D - канал передачи данных;

6.3 Цифровые тракты плезиохронной цифровой иерархии (PDH):

- **субпервичный** - 0,512 Мбит/с;
- **первичный** – 2,048 Мбит/с
- **вторичный** - 8,448 Мбит/с;
- **третичный** - 34,368 Мбит/с;
- **четверичный** - 139,264 Мбит/с;

6.4.Цифровые тракты синхронной цифровой иерархии (SDH) - цифровые потоки синхронных транспортных модулей (STM):

- **поток STM-1** - 155,52 Мбит/с;
- **поток STM-4** - 622,08 Мбит/с;

- **поток STM-16** - 2 488,32 Мбит/с;
- **поток STM-64** - 9 953,28 Мбит/с;
- **поток STM-256**- 39 813,12 Мбит/

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АМ -	Амплитудная модуляция
М -	Режим асинхронной передачи
ВЗП	Вторичное защитное покрытие
ВЛ	Воздушная линия
ВМ	Водопоглощающий материал
ВОК	Волоконно-оптический кабель
ВОЛП	Волоконно-оптические линии передачи
ВОЛС	Волоконно-оптические линии связи
ВОСП	Волоконно-оптические системы передачи
ВС	Волоконный световод
ГЗ	Гидрофобный заполнитель
ГТС	Городская телефонная сеть
ДП	Дистанционное питание
ЗЭ	Заполняющий элемент
ИК	Инфракрасный
ИКО	Измеритель коэффициента ошибок
КИП	Контрольно-измерительный пункт
КП	Пункт контроля
КУ	Кабельный участок
ЛД	Лазерный диод
ЛАЦ	Линейно-аппаратный цех
ПЭНП	Полиэтилен низкой плотности

ЛЭП	Линия электропередачи
МИ	Модуляция интенсивности
МОВ	Многомодовое оптическое волокно
МСП	Многоканальная система передачи
МСЭ-Т	Международный союз электросвязи, сектор стандартизации телекоммуникаций
НРП	Необслуживаемые регенерационные пункты
НС	Направляющие системы
НУП	Необслуживаемый усилительный пункт
ОВ	Оптическое волокно
ОК	Оптический кабель
ОМ	Оптический модуль
ООВ	Одномодовое оптическое волокно
ОП	Оконечный пункт
ОРП	Обслуживаемый регенерационный пункт
ПБТФ	Полибутилентерефталат
ПВХ	Поливинилхлорид
ПЗ	Приращение затухания
ПЗО	Плотная защитная оболочка
ПЗП	Первичное защитное покрытие
ПЛ	Полупроводниковый лазер
ПНД	Полиэтилен низкого давления
ПОМ	Передающий оптический модуль
ПП	Показатель преломления

ППП	Профиль показателя преломления
ПрОМ	Приемный оптический модуль
ПС	Профилированный сердечник
ПУ	Полиуретан
ПЭ	Полиэтилен
ПЭВП	Полиэтилен высокой плотности
ПЭНП	Полиэтилен низкой плотности
ПЭСП	Полиэтилен средней плотности
РУЭС	Районный узел электросвязи
СД	Светодиод
СИД	Светоизлучающий диод
СЛД	Суперлюминесцентный диод
СМ	Смеситель мод
СС	Служебная связь
СУС	Сетевой узел связи
ТУТ	Термоусаживаемая трубка
ФД	Фотодиод
ЦСЭ	Центральный силовой элемент
ЧМ	Частотная модуляция
АКМ – абонентский кабельный модем	
АЛ – абонентская (пользовательская) линия	
АМ – амплитудная модуляция	
АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция	
АМ-ЧПБ – амплитудная модуляция с частично подавленной боковой полосой	

АСК – аналоговая система коммутации
АСП – аналоговые системы передачи
АТС – автоматическая телефонная станция
АЦП – аналого-цифровой преобразователь
БС – базовая станция
ВОЛС – волоконно-оптические линии связи
ВОСПИ – волоконно-оптическая система передачи информации
ВСС – Взаимоувязанная сеть связи
ГС – головная станция
ГТС – городская телефонная сеть
ДРС – домовая радиорелейная сеть
ДТР УКВ – дальнее тропосферное распространение ультракоротких волн
ДЦВ – дециметровые волны
ЗСЛ – заказно-соединительная линия
ИКМ – импульсно-кодовая модуляция
ИСЗ – искусственный спутник Земли
КВЧ – крайне высокие частоты
КК – коммутация каналов
КС – коммутация сообщений
КТВ – кабельное телевидение
ЛЭП – линия электропередачи
МСЭ-Т – Сектор стандартизации электросвязи
ОАТС – оконечные автоматические станции
ОВ – оптическое волокно
ОВЧ ЧМ – организация телевизионного и звукового радиовещания с частотной модуляцией
ОК – оптический кабель
ОКС – общий канал сигнализации
ОНЧ – очень низкие частоты
ОС – оконечная станция
ОТАТС – оконечно-транзитные телефонные станции
ОЦК – основной цифровой канал
ПЗС – прибор с зарядовой связью
ПК – персональный компьютер

ППВ – предел прямой видимости
ПРД – передатчик
ПСП – псевдослучайная последовательность
ПЦИ – плезиохронная цифровая иерархия
ПЦК – первичный цифровой канал
ПЦС – плезиохронные цифровые системы
РАТС – районная АТС
РРЛ – радиорелейная линия
РРС – радиорелейная станция
РТПС – радиотелевизионная передающая станция
РЭБ – радиоэлектронная борьба
РЭП – радиоэлетронное противоборство
САД – сеть абонентского доступа
СВЧ – сверхвысокие частоты
СКД – сети коллективного доступа
СКМ – станционный кабельный модем
СКТВ – система кабельного телевидения
СЛМ – соединительная линия междугородная
СПД – сеть передачи данных
СРП – сборщик-разборщик пакетов
СТМ – синхронный транспортный модуль
СТС – сельская телефонная сеть
СЦИ – синхронная цифровая иерархия
ТГ – тактовый генератор
ТКС – телекоммуникационная сеть
ТС – транспортная сеть
ТУ – транзитный узел
ТфОС – телефонная опорная сеть
ТфОП – телефонная сеть общего пользования
ТЧ – канал тональной частоты
УАК – узел автоматической коммутации
УВС – узел входящих сообщений
УВЧ – ультравысокие частоты
УИВС – узел исходящих и входящих сообщений

УИС – узел исходящих сообщений
УК – узел коммутации
УС – узловая станция
У-ЦСИС – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ЦАЛ – цифровые абонентские линии
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь
ЦКП – центр коммутации пакетов
ЦСИО – цифровая сеть интегрального обслуживания
ЦСИС – цифровые сети с интеграцией служб
ЦСИУ – цифровые сети с интеграцией услуг
ЦСК – цифровая система коммутации
ЦСП – цифровые системы передачи
ЦТВП – цифровая телевизионная приставка
ЧИМ – частотно-импульсная модуляция
ЧМ – частотная модуляция
ШИМ – широтно-импульсная модуляция
ШПД – широкополосный доступ
ШПС – широкополосный сигнал
ЭВМ – электронная вычислительная машина
ЭМС – электромагнитная совместимость

DCF Dispersion Compensating Fiber (волокноскомпенсациейдисперсии)

DSF Dispersion Shifted Fiber (одномодовое волокно со смещенной дисперсией)

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing (плотное волновое мультиплексирование)

EDF Erbium-Doped Fiber (волокно, легированное эрбием)

EDFA Amplifier Erbium-Doped Fiber (оптический усилитель с волокном, легированным эрбием)

FDDI Fiber Distributed Data Interface (интерфейс передачи данных по волокну)

FRP Fiber Reinforced Plastic (стеклопластик)

GWWOP Ground Wire Wrapped Optical Fiber Cable (оптоволоконныйкабель, навиваемыйнагрозозащитныйтрос)
IEC International Electrotechnical Commission (Международная электротехническая комиссия, МЭК)
ITU- T International Telecommunication Union — Telecommunication Standardization Bureau (Международный союз электросвязи — сектор стандартизации телекоммуникаций)
LAN Local Area Network (локальнаясеть)
LP-волны Linearly Polarized (линейно-поляризованные волны)
LSFOH Low Smoke And Fume And Zero Halogen (низкодымный, негорючий и безгалогенный)
NA Numerical Aperture (числовая апертура)
NDF Neodim-doped Fiber (волокно, легированное неодимом)
NDFA Neodim-Doped Fiber Amplifier (оптический усилитель с волокном, легированным неодимом)
NZDF Non Zero Dispersion Fiber (одно модовое волокно с ненулевой дисперсией)
NZDSF Non Zero Dispersion Shifted Fiber (одно модовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией)
OPGW Optical Fiber Composite Ground Wire (грозозащитный трос с оптоволокном)
PDH Plesiochronous Digital Hierarchy (плезисинхронная цифровая иерархия)
PMF Polarization Maintaining Fiber (волокно, сохраняющее поляризацию)
PVC Polyvinylchlorid (поливинилхлорид)

SSF Standard Single-Mode Fiber (стандартное одномодовое волокно)
WDM Wavelength Division Multiplexing (волновое мультиплексирование)
ADSL – AsymmetricDigitalSubscriberLine – асимметричная цифровая абонентская линия
APON – ATMPassiveOpticalNetwork – пассивная оптическая сеть стандарта ATM
ARP – AddressResolutionProtocol – протокол разрешения адресов
AT – абонентский (пользовательский) терминал
ATM – Asynchronous Transfer Mode – асинхронный метод передачи
BPL – BroadbandoverPowerLines – широкополосная передача через линию электропередачи
BPON – BroadbandPassiveOpticalNetwork – широкополосная пассивная оптическая сеть
BPSK – BinaryPhase-shiftKeying – двоичная фазовая манипуляция
BRAS – BroadbandRemoteAccessServer – сервер широкополосного доступа
CAP – Carrierless AM – амплитудно-фазовая модуляция без несущей
CC – Country Code – телефонный код страны
CDMA – CodeDivisionMultipleAccess – множественный доступ с кодовым разделением
CDSL – ConsumerDigitalSubscriberLine – стандарт абонентской цифровой линии
CiDSL – Consumer installable Digital Subscriber Line – доступ по абонентской цифровой линии
CISC–Complicated Instruction Set Computer – архитектура вычислительной системы, реализующая полную систему команд
CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance множественный доступ с контролем несущей и избеганием коллизий

CSMA/CD – Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий
DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol – протокол автоматического назначенияк онфигурации
DMT – Discrete Multi Tone – передача по нескольким несущим
DN – Directory Number — местный абонентский номер
DOCSIS – DataoverCableServiceInterfaceSpecification – стандарт передачи данных по коаксиальному (телевизионному) кабелю
DPSK – Differential Phase Shift Keying – дифференциальная фазовая манипуляция
DSL – Digital Subscriber Line - цифровая абонентская линия
DSLAM – DigitalSubscriberLineAccessMultiplexer – мультиплексор доступа цифровой абонентской линии xDSL
DTM – DynamicsynchronousTransferMode – динамический режим синхронной передачи
DVB-C – DigitalVideoBroadcasting-Cable – цифровое кабельное видео вещание
DVB-S – DigitalVideoBroadcasting-Satellite – цифровое спутниковое видео вещание
EPON – Ethernet Passive Optical Networking – пассивная оптическая сеть Ethernet
ESCON – EnterpriseSystemsConnection – соединение учрежденческих систем (с базами данных, серверами)
ETSI – EuropeanTelecommunicationsStandardsInstitute – Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций
FDD – Frequency-DivisionforDuplex – частотное мультиплексирование каналов для обеспечения дуплексной связи
FDDI – FiberDistributedDataInterface – распределённый волоконный интерфейс данных
FDM – Frequency-DivisionMultiplexing – мультиплексирование каналов частотное
FEC – упреждающая коррекция ошибок
FICON – Fiber Connection – волоконное соединение для передачи данных

FITB – Fiber In The Building – организация распределительной сетивнутри здания
FTP – FileTransferProtocol – протокол передачи файлов
FTTB – FiberToTheBuilding – доведение волокна до здания
FTTC – FiberToTheCurb – доведение волокна до кабельногошкафа
FTTCab – Fiber To The Cabinet – доведение волокна до кабельного шкафа (аналог FTTC)
FTTH – Fiber To The Home – доведение волокна до квартиры
FTTO – Fiber To The Office – доведение волокна до офиса
FTTOpt – Fiber To The Optimum – доведение волокна до оптимального пункта
FTTP – Fiber To The Premises – доведение волокна до точки присутствия клиента
FTTR – Fiber To The Remote – доведение волокна до удаленного модуля, концентратора
G.Lite – вариант ADSL, не требующий установки комбинированного электрического фильтра для частотного разделения каналов на стороне пользователя
G.SHDSL – Single-pair High-speed digital subscriber line – цифровая абонентская линия, обеспечивающая симметричную дуплексую передачу данных сигнала по паре медных проводников
GEPON – Gigabit Ethernet Passive Optical Network – пассивная оптическаясеть Gigabit Ethernet
GFP – Generic Framing Procedure – процедураформированияобще-го кадра
GMPLS – Generalised MPLS – протокол обобщенной коммутации по меткам
GPON – Gigabit PON – пассивная оптическая сеть со скоростью от 1 Гбит/с
HDLC – High-level Data Link Control – протокол управления каналом высокого уровня
HDSL – HighBit-RateDigitalSubscriberLine – высокоскоростная цифровая абонентская линия
HDTV – High-Definition Television – телевидение высокой четкости

HFC – Hybrid Fiber Coaxial – гибридная сеть кабельного телевидения
HPNA – HomePhonelineNetworkingAlliance – объединённая ассоциация некоммерческих промышленных компаний
IDSL – ISDN Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия для одной пары проводов, используемой для передачи сигналов ISDN
IP – Internet Protocol – межсетевой Интернет протокол
IPX – InternetPacketeXchange – межсетевойобменпакетами
iSCSI – internetSmallComputerSystemInterface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами
ISDN–Integrated Services Digital Network – цифровыесетисинтеграциейслужб
ISO–International Organization for Standardization – международнаяорганизацияпостандартизации
ISP – Internet Service Provider – провайдерыуслугИнтернет
ITU-T – InternationalTelecommunicationUnion – Telecommunicationsector – секторстандартизацииэлектросвязиМеждународногосоюзаэлектросвязи
LAN – Local Area Network – локальныесети
LIFO –LastIn – FirstOut – режимочереди «последнимпришел, первымушел»
LLC –LogicalLinkControl – контролеробслуживаниясетевогоуровня
LLU –LocalLoopUnbundling – отделениеабонентскихлиний
LMDS – LocalMultipointDistributionSystem – локальнаямноготочечнаясистемараспределения
LTE – LongTermEvolution – «долговременноеразвитие» – стандартусовершенствованиятехнологиймобильнойпередачиданныхCDMA, UMTS
LTU – Line Terminal Unit – оборудование на абонентском узле
MAC – Media Access Control – контролер доступа к разделяемой физической среде
MCNS – Multimedia Network System Partners Ltd – организация операторов кабельных сетей Северной Америки

MMDS – Multichannel Microwave Distribution System – многоканальная микроволновая система распределения
MPEG-2 – Moving Picture Experts Group – видео- и аудиостандарт для широковещательного телевидения
MPLS – Multi-Protocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам
MVDS – MultipointVideoDistributionSystem - многоточечная система распределения телевизионных программ
MVL – Multiple virtual Line – многопользовательская виртуальнаяабонентская линия
NDC – National Destination Code – междугородный телефонный код
NFS – Network File System – протокол доступа к сетевым файловым системам
NGN – Next/NewGenerationNetwork – сети связи следующего/нового поколения
N-ISDN – NarrowbandIntegratedServicesDigitalNetwork – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
NPL – Narrowband over Power Lines – узкополосная передача через линии электропередачи
NTU – Network Terminal Unit – сетевое абонентское оборудование
OAN – OpticalAccessNetworks – оптические сети доступа
OFDM–Orthogonalfrequency-divisionmultiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов
OLT – OpticalLineTerminal – терминал (абонент) оптической линии
ONT – OpticalNetworkTerminal – терминалцентральногоузла
ONU – OpticalNetworkUnit – модульцентральногоузла
OSI – OpenSystemInterconnections – модель взаимодействия открытых систем
PAM – PulseAmplitudeModulation – амплитудно-фазовая модуляция
PDH – PlesiochronicDigitalHierarchy – плезиохронная цифровая иерархия

PDSL–PowerDigitalSubscriberLine – цифровой абонентский доступ по линии электропередачи

PLC – Power line communication – обмен данными по линии электропередачи

PON – PassiveOpticalNetwork – пассивная оптическая сеть

PPP – Point-to-PointProtocol – протокол доступа «точка-точка»

PPPoA – Point-to-Point Protocolover ATM – методдоступа

с использованием протокола точка-точка «поверх» сети ATM

PPPoE –Point-to-PointProtocoloverEthernet – метод доступа с использованием протокола точка-точка «поверх» сети Ethernet

PSTN – Public Switched Telephone Network – телефонная опорная сеть

QAM – Quadrature Amplitude Modulation – квадратурно-амплитудная модуляция

QoS – Quality of Service – качество обслуживания

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying – квадратурно-фазовая манипуляция

RADIUS – Remote Authentication Dial In User Service – сервер аутентификации пользователей

R-ADSL – Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линиясадаптациейскоростисоединения

RA-HDSL – RateAdaptiveHDSL – цифровая абонентская линия со ступенчатой регулировкой скорости

RLL – RunLengthLimited – код с ограничением длины серий

RPR –ResilientPacketRing – протокол пакетного кольца с самовосстановлением

SANs – StorageAreaNetworks – сети хранения данных (серверы услуг, базы данных)

SDH – SynchronousDigitalHierarchy – синхронная цифровая иерархия

SEC –SymmetricalEchocancellation симметричная передача с эхоподавлением

SECAM – Sйquentiel couleur a mйmoire, фр. последовательный цвет с памятью; система аналогового цветного телевидения

SHDSL –Single-pairHigh-speedDSL□ симметричная передача данных сигнала по паре медных проводников

SMATV – SatelliteMasterAntennaTV – телевизионная система коллективного пользования

SN – SubscriberNumber – зоновый номер абонента

SONET – SynchronousOpticalNetworking – синхронная цифровая иерархия

SSL – SecureSocketLayer – протокол секретного обмена сообщениями

STM – SynchronousTransferMode – синхронный режим передачи

STP – ShieldedTwistedPair – экранированная витая пара

SVC – SwitchedVirtualCircuits – перекоммутируемые виртуальные каналы

TCPAM – TrellisCodedPulseAmplitudeModulation – импульсная амплитудная модуляция с треллис-кодированием

TCP – Transmission Control Protocol – протокол управления передачей

TDD – Time Division Duplex – дуплексный канал с временным разделением

TDMA – Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением по времени

TFTP – TrivialFileTransferProtocol – простой протокол передачи файлов

TMUX – TransMultiplexor – трансмультиплексор

UMTS–UniversalMobileTelecomunicatinsSystem – универсальнаямобильнаятелекоммуникационнаясистема

UTP – Unshielded Twisted Pair – неэкранированная витая пара

VC – Virtual Circuit – виртуальный канал

VDSL(VHDSL)–VeryHighBit-RateDigitalSubscriberLine– сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия

VoATM – Voice over ATM – одновременная передача данных и голоса через ATM

VOD – Video on Demand – видео по запросу

VoDSL – Voice over DSL – одновременная передача данных и голоса в цифровом виде

VoIP – Voice over IP – одновременная передача данных и голоса через ATM

WAN – WideAreaNetwork – глобальныесети

WDM – wavelengthdivisionmultiplexing – система оптического уплотнения по длине волны
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access – телекоммуникационнаятехнология
WLL – Wireless Local Loop – технологии беспроводного абонентского доступа

ТЕСТЫ

1 Какое название носит участок сети от распределительного шкафа до абонентского терминала

A Магистральная сеть
B Транспортная сеть
C Распределительная сеть
D Контрольно-вызывная сеть

2 Все изолированные жилы, скрученные между собой по определенной системе, образуют

A Экранирующий слой
B Поясную изоляцию
C Металлическую броню
D Сердечник

3 Какая из перечисленных марок телефонного кабеля не является симметричным

A ТПП
B ТГ
C МКСАп
D КМ

4 Два способа скрутки жил кабеля связи

A Повивной и пучковой
B Парный и повивной
C Звездный и парный
D Звездный и пучкой

5 Два способа скрутки сердечника кабеля связи

A Повивной и пучковой
B Парный и повивной
C Звездный и парный
D Звездный и пучкой

6 Какое число жил сердечника кабеля скручивают в пучок в марке кабеля ТПП 50 х 2

A 10
B 30
C 50
D 100

7 Какое число пар жил сердечника кабеля скручивают в пучок в марке кабеля ТПП 100х2

A 10
B 20
C 30
D 50

8 Определите марку кабеля. Телефонный кабель с полиэтиленовой изоляцией жил и в пластмассовой оболочке кабеля

A ТГ
B ТЗГ
C ТЗ
D ТПП

9 Как обозначается емкость кабеля марки ТПП с емкостью 400 пар

A 200x2
B 400x2
C 800x2
D 100x4

10 Что обозначает буква Г в марке кабеля ТГ

A Свинцовая оболочка кабеля

B Гофрированная оболочка кабеля

C Герметизированная оболочка кабеля

D Кабель прокладываемый в грунте

11 Оболочка кабеля, являющаяся защитой от электромагнитных помех

A Внешняя полиэтиленовая оболочка

B Экранирующая оболочка

C Поясная лента

D Изоляция токопроводящих жил

12 Какой диаметр токопроводящих жил телефонного кабеля из меди не используется

A 0,004
B 0,32
C 0,4
D 0,5

13 Какой главной особенностью обладает стирофлексная изоляция

A Образует уплотнение жил парной скрутки

B Создает влагозащитную оболочку

C Создает воздушную оболочку вокруг токопроводящей жил

D Обладает защитой от электромагнитных помех

14 Что означает марка кабеля ТЗБГ

A В свинцовой оболочке, бронированный круглыми стальными оцинкованными проволоками, с защитным наружным покровом джута, предназначен для прокладки в агрессивных грунтах

B В свинцовой оболочке, заземленный с броневым покровом с защитным наружным покровом предназначенный для прокладки через водные преграды

C В свинцовой оболочке, голый, предназначен для прокладки телефонной канализации

D В свинцовой оболочке, бронированный стальнми лентами, поверх которых имеется джутовый покров, предназначен для прокладки в земле

15 Какой цифрой обозначается тип скрутки звездой при описании емкости кабеля марки МКСГ

A 1,2
B 2
C 9
D 4

16 Какая из нижеприведенных маркировок обозначает телефонный провод

A ТПП
B ТЗГ
C ТРП
D ТГ

17 Какая из марок магистрального кабеля указывает, что он бронированный круглыми оцинкованными проволоками с защитным наружным покровом

A МКСГ
B МКСБ
C МКСБГ
D МКСК

18 Сплавы, используемые для прочного механического соединения металлических поверхностей и обеспечивающие

хорошую электрическую проводимость места соединения, называют . . .

A Текстолит
B Припой
C Эмаль
D Лак

19 Для соединения распределительного кабеля с абонентскими линиями устанавливают

A Звуковую полосу
B Распределительную телефонную коробку
C Кабельный бокс
D Распределительную муфту

20 Какой вид повреждения не относится к телефонной линии связи

A Холостой ход
B Короткое замыкание
C Земля
D Обрыв

21 Элемент, надеваемый на соединение жил при монтаже телефонного кабеля

A Гильза
B Стирофлекс
C Бумагомассная оболочка
D Кордельный стержень

22 Какое повреждение определяется, если соприкасаются две жилы различныхразговорных цепей

A Обрыв
B Короткое замыкание
C Земля
D Сообщение

23 Какое повреждение определяется, если одна из токопроводящих жил разговорной цепи соприкасается с каким-либо металлическим корпусом

A Обрыв
B Короткое замыкание
C Земля
D Сообщение

24 Какое повреждение определяется, если в разговорной цепи не проходит ток и сопротивление стремится к бесконечности

A Обрыв
B Короткое замыкание
C Земля
D Сообщение

25 Какое повреждение определяется, если электрическое сопротивление разговорной цепи стремится к нулю

A Обрыв
B Короткое замыкание
C Земля
D Сообщение

26 С помощью какого инструмента удаляют внешнюю полиэтиленовую оболочку

A Саморез
B Плоскогубцы
C Кабельный нож
D Утконос

27 Какой емкостью обладает распределительный шкаф если магистральные боксы расположены в горизонтальном среднем ряду

A 600x2
B 300x2
C 1200x2
D 800x2

28 Какой емкостью обладает распределительный шкаф если магистральные боксы расположены в вертикальном среднем ряду

A 600x2
B 300x2
C 1200x2
D 800x2

29 Какой емкостью обладает распределительный шкаф если магистральный бокс расположен в вертикальном среднем ряду

A 600x2
B 300x2
C 1200x2
D 800x2

30 Этот элемент оптического кабеля может изолировать оптическое волокно, а также их группировать в пучки

A Силовой элемент
B Гофрированная оболочка
C Арамидная пряжа
D Модульная трубка

31 Этот элемент оптического кабеля позволяет обеспечить свойства растяжения под нагрузкой

A Силовой элемент B Гофрированная оболочка

C Арамидная пряжа D Модульная трубка

32 Назначение стриппера

A Удаляет поверхностный слой лакового покрытия оптического волокна

B Удаляет оболочку оптического волокна

C Срезает оптическое волокно перед сваркой

D Вытягивает его из модульной трубки

33 По какой причине на выходе оптического волокна мог получиться импульс расплывчатый в отличие от поданного прямоугольного

A Затухание в оптическом волокне

B Внешние механические воздействия

C Электромагнитное воздействие

D Дисперсия

34 Укажите гарантированный срок службы волоконно-оптического кабеля

A 15 лет B 10 лет

C 5 лет **D 25 лет**

35 От каких из перечисленных внешних воздействий оптическое волокно защищено на 100%

A Влажность B Горение

C Температура **D Электромагнетизм**

36 Какой материал используют для покрытия оболочки оптического волокна

A Лак B Гидрофоб

C Полистирол D Поливинилхлорид

37. Назначение гидрофоба

A Защита от огня B Защита от грызунов

C Защита от механических воздействий **D Защита от влаги**

38 Оболочка оптического кабеля предотвращающая распространение горения

A Армированные элементы B Арамид

C Гидрофоб **D Поливинилхлорид**

39 Устройство, восстанавливающее амплитуду цифровых сигналов до исходных значений

A усилитель B мультиплексор

C регенератор D фильтр

40 Какое из сокращенных названий указывают на технологию FTT-X до квартиры

A FTTN B FTTC

C FTTB **D FTTH**

41 Какое из сокращенных названий указывают на технологию FTT-X до здания

A FTTN B FTTC

C FTTB D FTTH

42 Какой из указанных габаритов оптического сплиттера вносит в выходной сигнал наибольшее затухание

A 1x2 B 1x4

C 1x8 **D 1x16**

43 Какой тип кабеля используется в технологии FTTB на участке Switch-PC

A UTP Cat 5e B UPS

C UPC D UTX

44 Что необходимо учитывать в первую очередь при расчете сети FTTH

A Емкость используемого оптического кабеля

B Скорость передачи сигнала в оптическом волокне

C Выбор типа оптического волокна

D Бюджет мощности разрабатываемой сети

РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Рис. 1.Оптический кабель типа Optofil wbGGT HighP (City Compact)имеющтй 576 оптических волокон

Рис.2. Оптичеких волокон 96 - оптического кабеля типа Optofil S-Micro

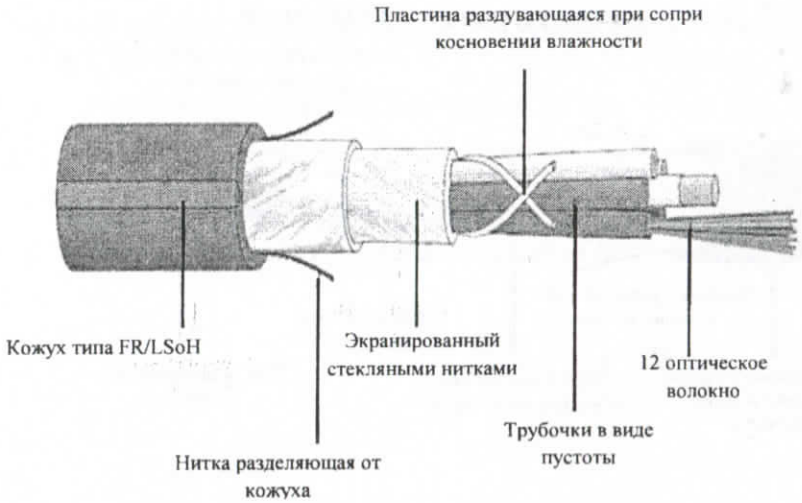


Рис.3.Оптическое волокно типа Optofil wbGGFR-Easy-Blownпрокладываемый внутри и за пределами здания

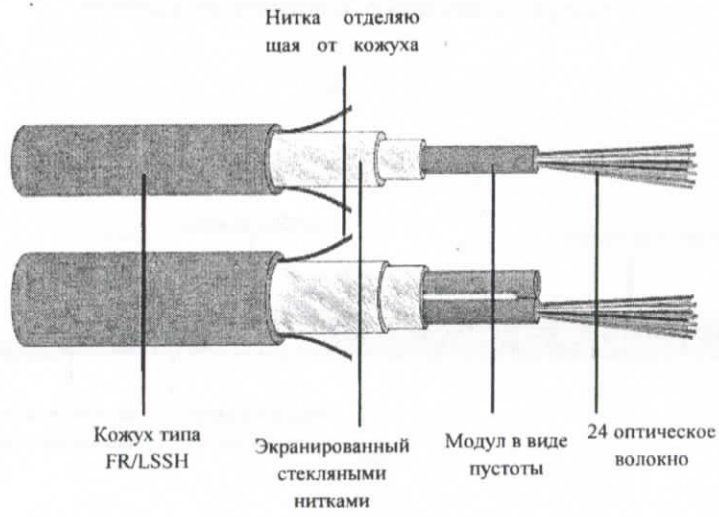


Рис.4. Datwyler Cables компанияси томонидан ишлаб чиқарувчи 24 оптик толали бино ичида ва бино ташқарисида ётқизилувчи Optoversal туридаги оптик кабел

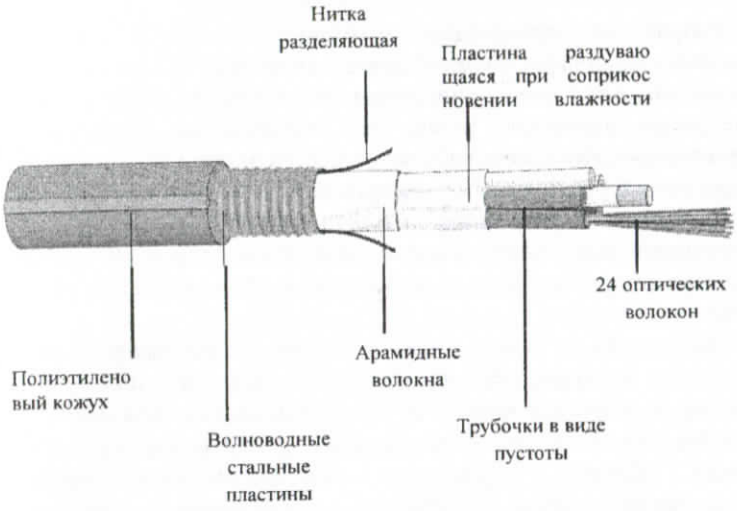


Рис.5. Optofil HighP туркимига мансуб бўлган тўғридан - тўғри равишда ер остига ётқизилувчи тўлқинсимон пўлат тасмали оптик тола

Рис.6. Оптический кабель прокладываемый внутри здания типа optofil FTTH-Cable

1.1. Общие понятия о FTTx. Описание FTTx

Разработка одномодового оптического волокна с его практически неограниченной пропускной способностью открыла дверь для массового внедрения магистральных и городских волоконно-оптических сетей типа точка-точка. Использование волоконно-оптического кабеля вместо медного кабеля позволило существенно уменьшить стоимость оборудования и эксплуатации и значительно увеличило качество обслуживания (QoS). В настоящее время многие корпоративные клиенты имеют доступ к услугам, предоставляемым волоконно-оптическими сетями типа точка-точка.

Несмотря на свои преимущества волоконно-оптические кабели не используются широко на «последней миле», т,е. на участке сети от центрального узла (CO) до абонента. Из-за того, что этот участок сети обычно медный, клиенты жилого сектора и малый бизнес ограничены возможностями цифровых абонентских линий (xDSL) и гибридными волоконно-коаксиальными линиями (HFC). Их основная альтернатива - беспроводная передача данных прямого вещания (DBS) - требует наличия антенны и приемника. Поэтому применяемые в настоящее время технологии имеют следующие недостатки:

- имеют ограниченную пропускную способность, в то время как наблюдается взрывной спрос на рост пропускной способности и другие высокоскоростные услуги.
- используют различные среды и оборудование, требующие постоянного обслуживания.
- не позволяют провайдеру предоставлять одновременно голос, видео, данные и другие высокоскоростные интерактивные услуги абонентам жилого сектора экономически выгодным способом.

Хотя волоконно-оптические кабели лишены всех этих ограничений, имеется одно препятствие, мешающее провести волоконно-оптические услуги непосредственно в жилой сектор и к малому бизнесу - это высокая стоимость подключения каждого абонента к CO. Такое огромное количество соединений типа точка-точка потребовало бы большого количества активных компонентов, волоконно-оптических кабелей и, тем самым, имело бы чрезмерную стоимость строительства и эксплуатации.

Архитектура FTTx (волокно-в-дом, волокно-в-офис и т.д.)

предлагает привлекательное решение этих проблем. С помощью FTTx пассивные оптические сети- (PON) позволяют нескольким абонентам совместно использовать одно подключение, без применения активных компонентов (т.е. компонентов, которые создают или преобразуют излучение с помощью электро-оптических преобразований.

Основное (питающее) волокно располагается между оптическим линейным терминалом (OLT), расположенным на центральном узле (CO) и волоконно-распределительным хабом (FDH), расположенным поблизости от группы абонентов (рис. 1.1). В этой точке используется пассивный разветвитель для подключения до 32 абонентов к одному основному волокну. Затем каждое абонентское помещение обеспечивается оптическими сетевыми терминалами (ONT), которые подключаются к ветвям разветвителя. Такая архитектура (точка-много точек) значительно уменьшает стоимость строительства, управления и эксплуатации.

OLT обеспечивает передачу голоса и данных (прямой поток) на длине волны 1490 нм, а ONT обеспечивает обратный поток на длине волны 1310, что позволяет осуществлять передачу в обоих направлениях по одному волокну без взаимного влияния сигналов.

Дополнительно OLT может быть подключен к волновому мультиплексору (WDM) для совместной передачи видеосигнала с голосом и данными (услуга три-в-одном) по одному волокну. Передача видеосигнала происходит только в одном направлении (прямой поток) и обычно на длине волны 1550 нм.

В зависимости от требований заказчика может быть реализована различная пропускная способность. На данный момент запланированы следующие типичные симметричные или ассиметричные скорости 155 МБ/с, 622 МБ/с, 1 ГБ/с и 2.5 ГБ/с. Выбранный протокол базируется на режиме асинхронной передачи (ATM) и называется ATM-PON. Также возможно применение других протоколов, включая Ethernet (EPON).

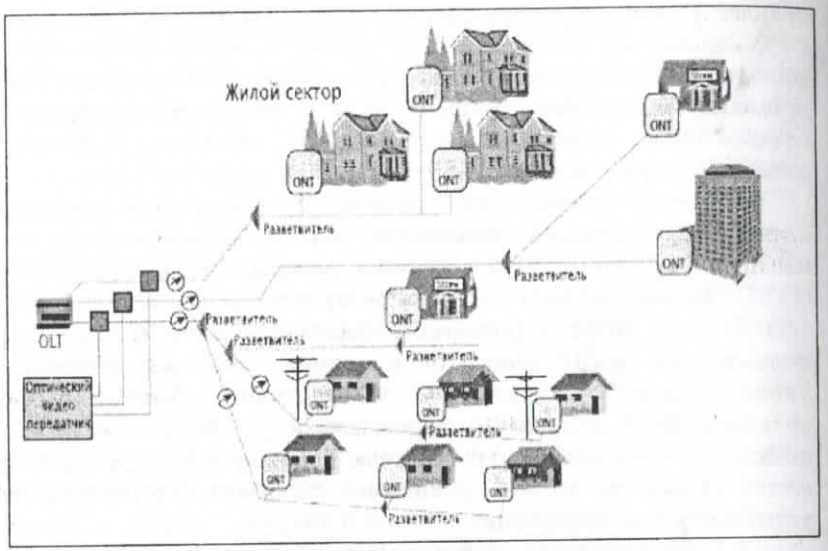


Рис. 7. Передача услуг «три-в-одном» по пассивной оптической сети с высокой пропускной способностью

Ежегодно растет интерес к развертыванию сетей доступа с возможностью предоставления абоненту широкополосного канала связи. Причиной данного интереса служит быстрый рост требований к полосе пропускания сетей связи, обусловленный появлением новых широкополосных услуг К таким услугам можно отнести услуги для бизнеса (видеоконференц-связь, удаленное обучение, телемедицина) и развлекательные услуги (видео по запросу, цифровое вещание, HDTV, on-line игры и т.д.). Используемые в настоящее время технологии не могут предоставить экономически выгодного решения для удовлетворения растущих потребностей, поэтому в ход идут не совсем привычные технологии. Одна из них - FTTx (Fiber To The ... — «волокно до ...») - технология организации сетей доступа с доведением оптического волокна до определенной точки. Несмотря на то, что FTTx - технология не новая, однако широкое распространение она получает именно сейчас.

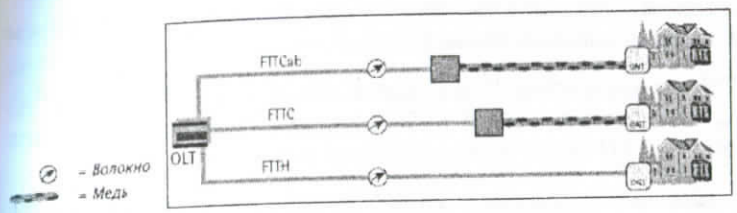


Рис.8. Типичная сеть FTTx

Имеется много вариаций архитектуры FTTx (рис. 8):

- Fiber-to-the-Cabinet (FTTCab) - Волокно-в-распределительный шкаф
- Fiber-to-the-Curb (FTTC) - Волокно-в- (колодец, распределительную уличную тумбу, шкаф и т.п.)
- Fiber-to-the-Home (FTTH) - Волокно-в-дом
- Fiber-to-the-Premises (FTTP) - Волокно-в-помещение
- Fiber-to-the-Office (FTTO) - Волокно-в-офис
- Fiber-to-the-User (FTTU) - Волокно-к-пользователю

Отдельно нужно отметить концепцию FITB (Fiber In The Building) — организация распределительной сети внутри здания.

Рассмотрим более подробно два первых варианта FTTx.

При использовании варианта FTTB оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак (что более экономически эффективно) и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обмена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONU (или ONT, в случае FTTH).

Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре».

Этот подход целесообразно применять в случае развертывания сети в многоквартирных домах и бизнес-центрах среднего класса. Российские операторы связи разворачивают сети FTTB пока только в крупных городах, но в перспективе использование данной технологии повсеместно. В FTTB нет необходимости прокладывать

дорогостоящий оптический кабель с большим количеством волокон, как при использовании FTTH.

FTTH подразумевает доведение оптического волокна до квартиры или частного дома пользователя. Существует два типа организации FTTH сетей: на базе Ethernet и на базе PON.

В решении Ethernet FTTH для коммутации линий подразумевается использование коммутаторов с оптическими портами или оптическими трансиверами. Коммутаторы объединяются либо в «кольцо» Ethernet (GE или 10GE), либо по топологии «звезда» и располагаются на цокольном или чердачном этаже (в зависимости от способа заведения магистрального волокна в дом). К портам коммутатора подключаются устройства конечных пользователей. Такой подход обеспечивает высокий уровень надежности за счет возможности резервирования оптических каналов, и обеспечивает преемственность с существующей «медной» инфраструктурой. К недостаткам Ethernet FTTH можно отнести узкую полосу пропускания и недостаточные возможности масштабирования.

На территории абонента (в квартире или коттедже) используются устройства CPE (Customer Premise Equipment).

При использовании решения на базе PON - пассивной оптической сети - для развертывания сети FTTH оптоволоконная линия распределяется по абонентам с помощью пассивных оптических разветвителей (сплиттеров) с коэффициентом деления от 1:2 до 1:128.В стандартной оптической сети PON на стороне провайдера связи используются OLT (Optical Line Terminal), а в качестве абонентских устройств применяются ONT (Optical Network Terminal).ONT представляет из себя более сложное устройство, чем CPE, используемого в Ethernet решении. Кроме функций предоставления широкополосного доступа и поддержки сервисов, ONT должен дополнительно поддерживать:протокол управления доступом к PON;лазеры пакетного режима (burst-mode lasers), обеспечивающие передачу данных ONT только в определенные терминалом OLT отрезки времени;повышенная мощность сигнала (требуется учитывать потери на делителях и пр.);шифрование;высокая производительность.

Эти дополнительные функции обусловливают значительно более высокую стоимость устройства ONT для архитектуры PON, чем устройства Ethernet FTTH CPE.

Актуальность технологии FTTx

- Малый бизнес и абоненты жилого сектора требуют большую пропускную способность и большее количество услуг;
- FTTx имеет большую пропускную способность оптического волокна и предлагает большое разнообразие услуг (передачу данных, телефонию, видео) за умеренную плату.
- Большое количество конечных пользователей совместно используют пропускную способность одного волокна, и потому что все полевое оборудование является пассивным;
- Новые стандарты, которые были установлены ITU и институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE) значительно улучшили унифицированность, емкость, выживаемость, безопасность и гибкость PON,
- Открыли возможность широкомасштабной экономии и резкого снижения стоимости, которые невозможно было представить до этого.

- Теперь FTTx предлагается многими типами операторов:Традиционными операторами местной связи (ILEC) и региональными операторами Белл
- Сельскими операторами связи (RLEC)Компаниями, предоставляющими коммунальные услугиМуниципалитетами и т.д.
- Кроме того, многие страны Азии (Китай, Япония, Корея, Сингапур и Тайвань), а также Европа в настоящее время тестируют или внедряют PON сети, а комитет 802.3ah Института Инженеров Электротехники и Электроники (IEEE) вырабатывает стандарты для пассивных оптических сетей на основе Ethernet (EPON).

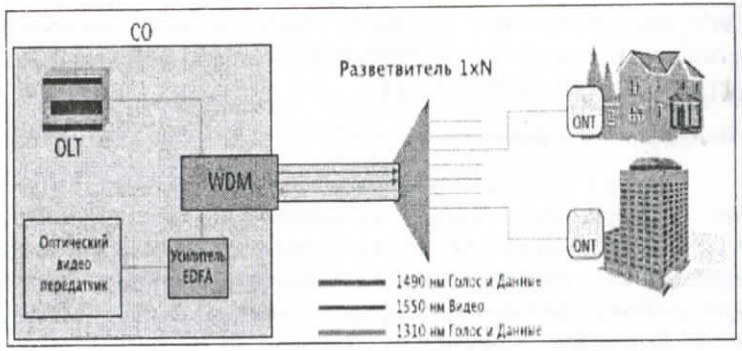


Рис.9. Длины волн и сервисы в FTTx сети

РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

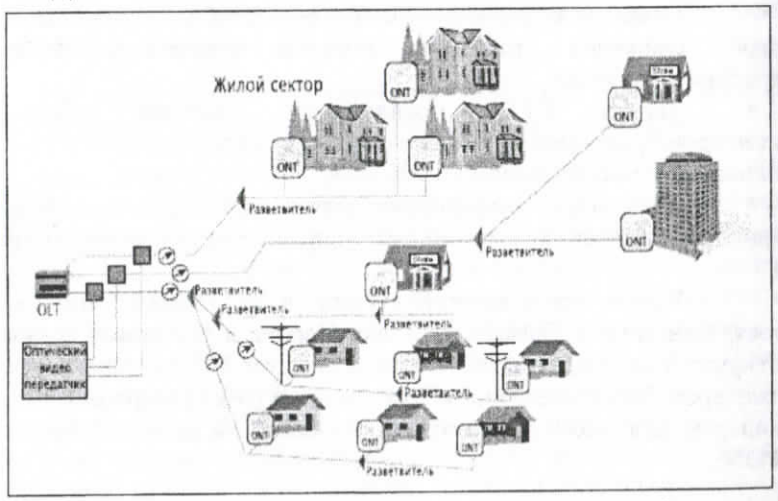


Рис.10. Передача услуг «три-в-одном» по пассивной оптической сети с высокой пропускной способностью

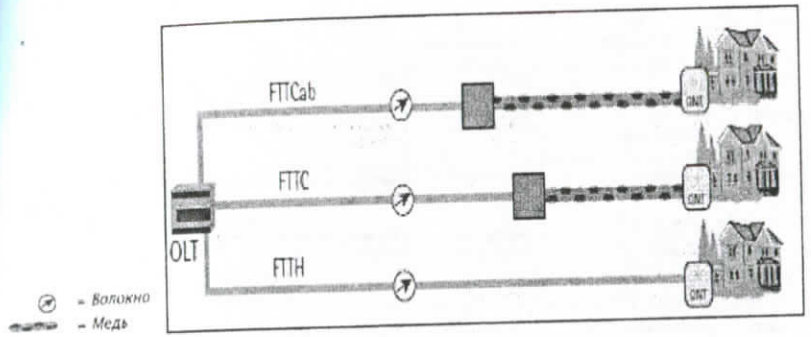


Рис. 11.Типичная сеть FTTx

Имеется много вариаций архитектуры FTTx:

- Fiber-to-the-Cabinet (FTTCab) - Волокно-в-распределительный шкаф
- Fiber-to-the-Curb (FTTC) - Волокно-в-(колодец, распределительную уличную тумбу, шкаф и т.п.)
- Fiber-to-the-Home (FTTH) - Волокно-в-дом
- Fiber-to-the-Premises (FTTP) - Волокно-в-помещение
- Fiber-to-the-Office (FTTO) - Волокно-в-офис
- Fiber-to-the-User (FTTU) - Волокно-к-пользователю
- и т.д.

Типы Пассивных Оптических Сетей

В таблице № 1 приводится несколько различных технологий для PON

Таблица № 1. Архитектуры PON

Тип	APON (PON с ATM)	BPON (Широкопол. PON)	GPON (Gigabit -PON)		EPON (Ethernet PON)
Протокол	ATM	ATM	ATM	ATM и GEM[1]	Ethernet + FEC[2]
Стандарт	ITU-T G.983.1 (включая Поправку 1)	ITU-T G.983.3	ITU-T G.983.1 (Поправка 2)	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
Архитектура	Симметричная: FTTCab/B/C/H Ассиметричная: FTTCab/B/C	Симметричная: FTTCab/B/C/H Ассиметричная: FTTCab/B/C	Симметричная: FTTCab/B/C/H Ассиметричная: FTTCab/B/C	Симметричная: FTTCab/C/H/B для многоквартирных домов (MDU), FTTB для бизнеса Ассиметричная: FTTCab/C/H/B-MDU	1000BASE-PX10 1000BASE-PX20
Сервисы	Телекоммуникационные услуги для малого бизнеса, телеконсультаций, и т.п.: Симметричная FTTCab/C/H/B Цифровые широковещательные услуги, Видео-по-требованию, Интернет, дистанционное обучение, телемедецина и т.п.: Ассиметричная FTTCab/C/H/B Голос: FTTCab/C/H/B	Голос/Данные/Видео/ Дополнительные цифровые услуги (ADS)/ Будущие сервисы	Голос/Данные	Вещание, эл.почта, обмен файлами, дистанционное обучение и т.п. Симметричная: FTTCab/C/H/B-MDU/Business Услуги цифрового вещания, видео-по-требованию, загрузка файлов и т.п. Ассиметричная: FTTCab/C/H/B-MDU Голос: FTTCab/C/H/B-MDU/Business xDSL: FTTCab/C	Услуги «три-в-одном»

1 GEM: Мётод инкапсуляции GPON

2 FEC: Прямая коррекция ошибок

Тип	APON (PON с ATM)	BPON (Широкопол. PON)	GPON (Gigabit -PON)		EPON (Ethernet PON)
Тип волокна	ITU-T G.652 (одно или два волокна)	ITU-T G.652 (одно волокно)	ITU-T G.652 (одно или два волокна)	TU-T G.652 (одно или два волокна)	1000BASE-PX10: Одно 1000BASE-PX20: Два (тип волокна не определен)
Макс. физическ. расст. (ONT-OLT)	20 км	20 км	20 км	10 км (Лазерные диоды Фабри-Перо для 1244.16 МБ/с и выше) 20 км >20 км (с различными типами волокон-в процессе изучения)	1000BASE-PX10: 10 км 1000BASE-PX20: 20 км
Деление	До 32	До 32	До 32	До 64 (реально) До 128 (рассматривается)	1:16 До 32
Диапазон длин волн	Одно волокно: Прямой поток: 1480-1580 нм Обратный поток: 1260-1360 нм Два волокна: 1260-1360 нм	Прямой поток: 1260-1360 нм (ATM-PON) Обратный поток и/или Прямой поток: Диапазон 1360-1480 нм (для использования в будущем). Диапазон 1,5 мкм: Основной диапазон: 1480-1500 нм (прямой поток ATM-PON) Расширенный диапазон: (1) 1539-1565 нм (ADS) (2) 1550-1560 нм (Услуги видео) Диапазон L. Длины волн не определены (для использования в будущем)	Одно волокно: Прямой поток: 1480-1580 нм Обратный поток: 1260-1360 нм Два волокна: 1260-1360 нм	Одно волокно: Прямой поток: 1480-1580 нм Обратный поток: 1260-1360 Два волокна: Прямой/Обратный 1260-1360 нм	1000BASE-PX10: «три-в-одном» Прямой поток: 1490 нм + PIN Rx; Обратный поток: 1300 нм (недорогая FP оптика и PIN Rx) 1000BASE-PX20: Прямой поток: 1490 нм + APD Rx Обратный поток: 1300 нм (DFB оптика + PIN Rx)

Тип	APON (PON с ATM)	BPON (Широкопол. PON)	GPON (Gigabit -PON)		EPON (Ethernet PON)
Скорости передачи	Симметричная: 155.52/622.08 МБ/с волокна) Ассиметричная: Прямой поток: 622.08 МБ/с Обратный поток: 155.52 МБ/с	Симметричная: 155.52/622.08 МБ/с Ассиметричная: Прямой поток: 622.08 МБ/с Обратный поток: 155.52 МБ/с	Симметричная: 155.52/622.08 МБ/с Ассиметричная: Прямой поток: 622.08/1244,16 МБ/с Обратный поток: 155.52/622.08 МБ/с	1244,16/2488,32 МБ/с 1244,16/2488,32 МБ/с Ассиметричная: Прямой поток: 1244,16/2488,32 МБ/с Обратный поток: 155.52/622.08/1244,16 МБ/с	Симметричная: 1,25 Гб/с

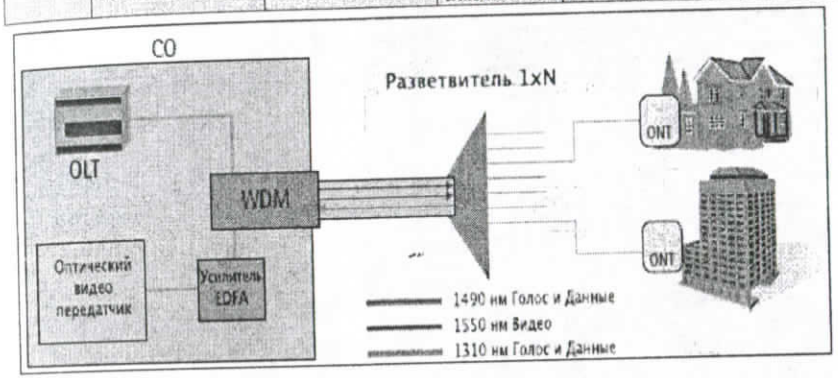


Рис.12. Длины волн и сервисы в FTTx сети

Услуги	
Данные:	• Высокоскоростной Интернет • Данные корпоративных пользователей • Частные линии • Frame Relay • Соединения ATM • Интерактивные игры • Системы безопасности и мониторинга • Будущие сервисы
POTS:	• Одна или несколько телефонных линий
Видео:	• Цифровое и Аналоговое широковещательное видео • Телевидение высокой четкости (HDTV) • Видео-по-требованию (VOD) • Интерактивное TV/Платное TV

Таблица 2. Услуги, доступные по PON

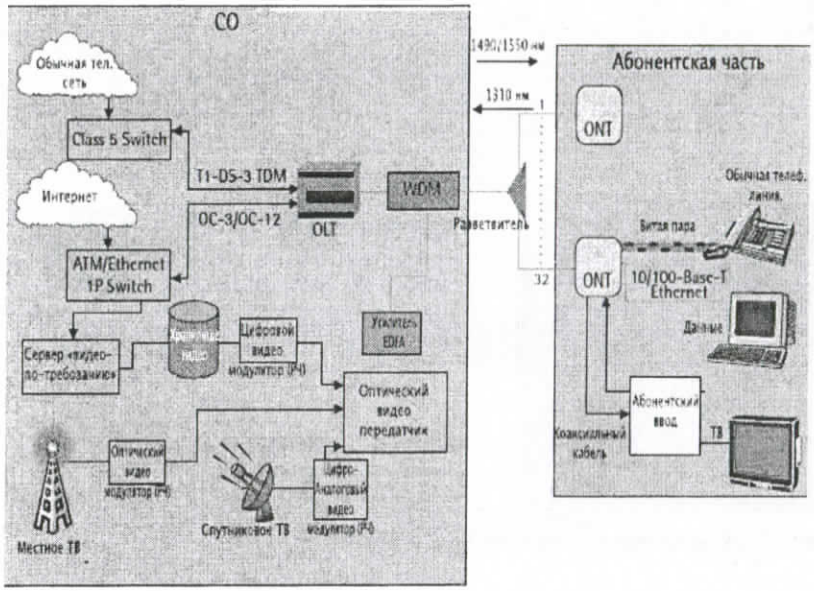


Рис.13. Общая архитектура FTTx

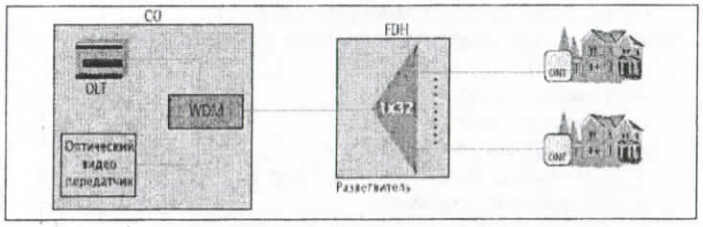


Рис.14. Сеть FTTx с одним разветвителем

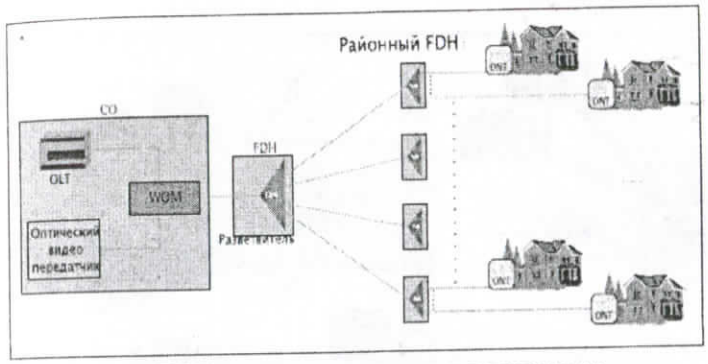


Рис.15. Сеть FTTx с несколькими разветвителями

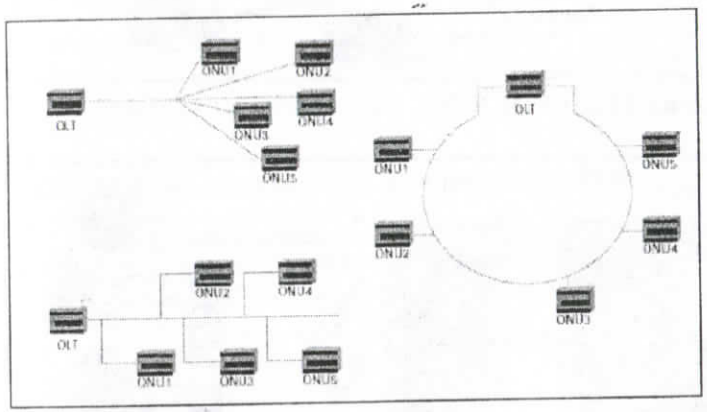


Рис.16.Типологии PON

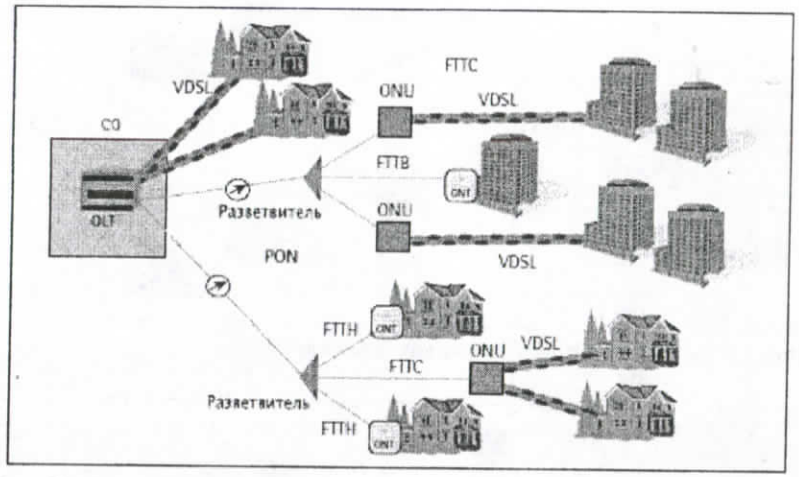


Рис.17. Сети FTTH, FTTB, FTTC

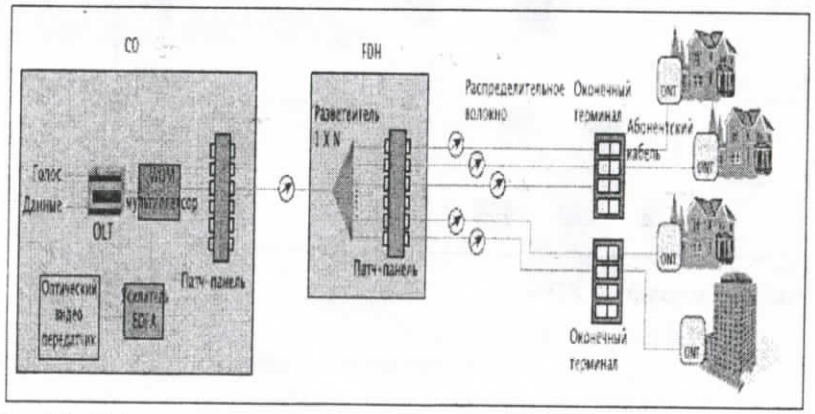


Рис.18. Оборудование линейной части

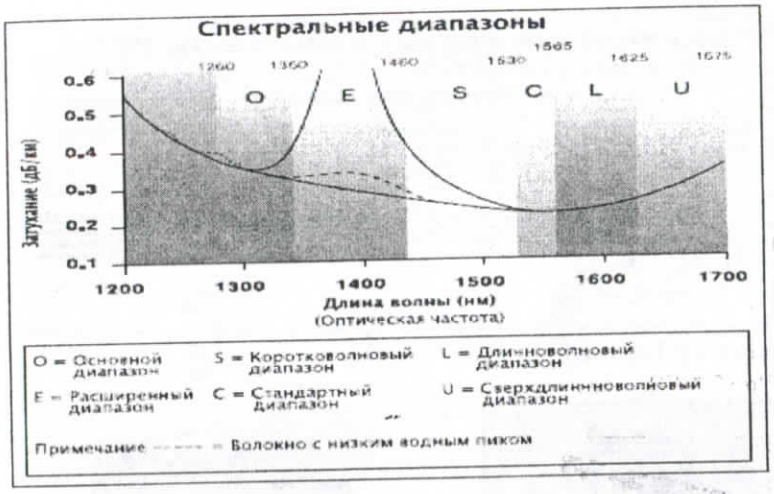


Рис.19. Спектральное затухание

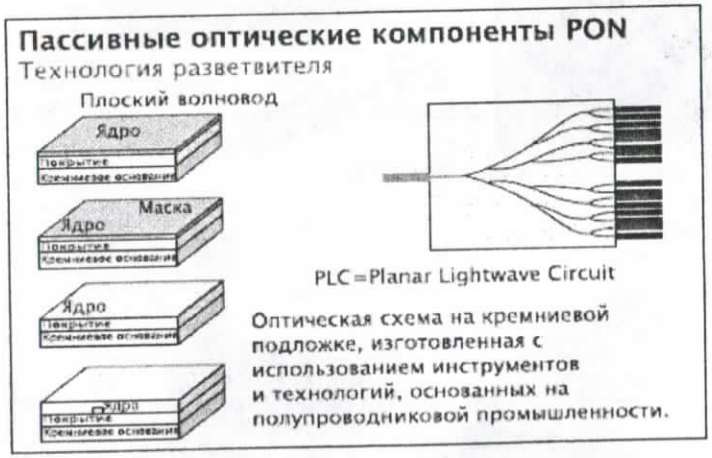


Рис.20. Плоский волноводный разветвитель

Рис.21. FBT разветвитель

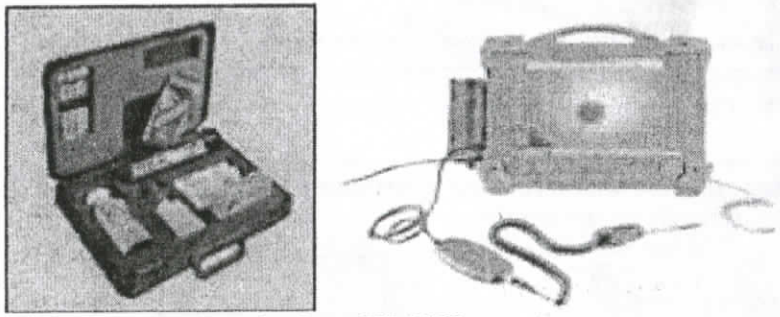


Рис.22. Чистящий набор Рис. FIP-USB

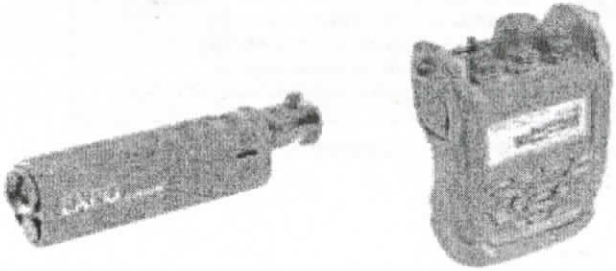


Рис.23.Волоконно-оптический микроскоп EXFOРис. Многофункциональный оптический тестер ORL/ OLTSEXFOFOT-930 MaxTesterII

Таблица 3.. Типичные значения для коннекторов

Тип коннектора	Типичное значение ORL (дБ)
UPC	50-55
APC	65-70

Примечание: Большие значения означают меньший уровень

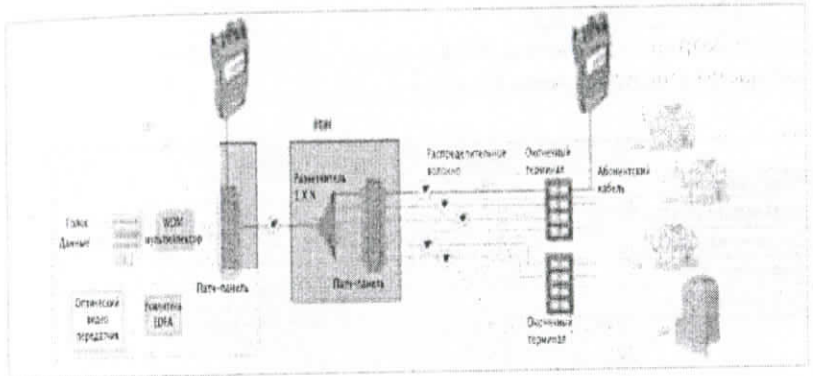


Рис.24. Двунаправленное тестирование ORL между CO и оконечным терминалом

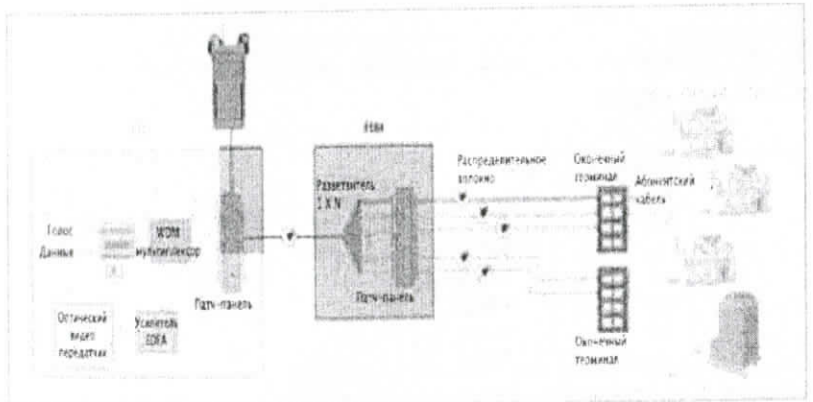


Рис.25. Тестирование ORL между CO и оконечным терминалом в одном напрвлении

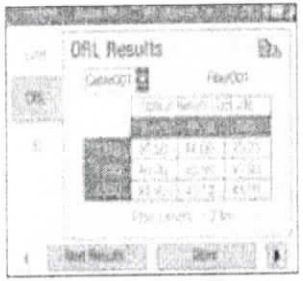


Рис.26.Хорошие значения ORL (согласно спецификации 32 дБ)

Рис27. Плохие значения

	Потери	Количество/Длина	Общие потери (дБ)
Разветвитель (1:32)	~ 16-17	1	17
WDM мультиплексор (1:2)	~ 0,7 -1,0	1	1
Соединения (сварка)	~ 0,02 - 0,05	4	0,2
Коннектор (APC)	~ 0,2	2	0,4
Волокно (G.652C)			
1310 нм	~0,35/км	18,2	6,4
1490 нм	~0,27/км		4,9
1550 нм	~0,22/км		4,0
Общие потери (дБ)			
1310 нм			25,0
1490 нм			23,5
1550 нм			22,6

Рис.28. Типичный сценарий бюджета потерь (наихудший случай 18,2 км максимум)

Класс	Потери дБ		Рек. ITU-T
	Мин.	Макс.	
A	5	20	983.3
B	10	25	983.3
B	10	22	984.2
C	10	30	983.3
C	15	27	984.2

Таблица. Требования к энергетическому бюджету для топологии с одним волокном

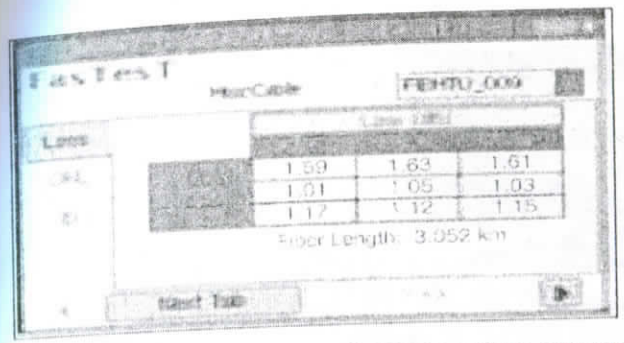


Рис.29. Результаты измерений потерь линии хорошего качества

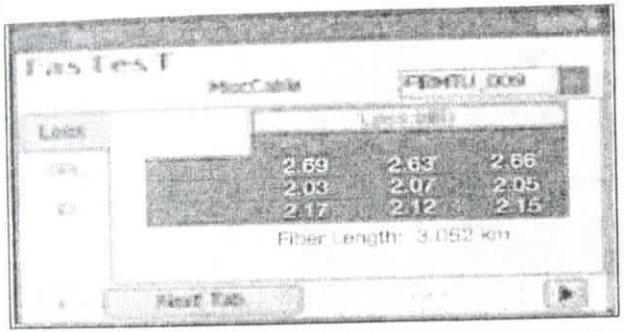


Рис.30. Результаты измерений потерь линии плохого качества

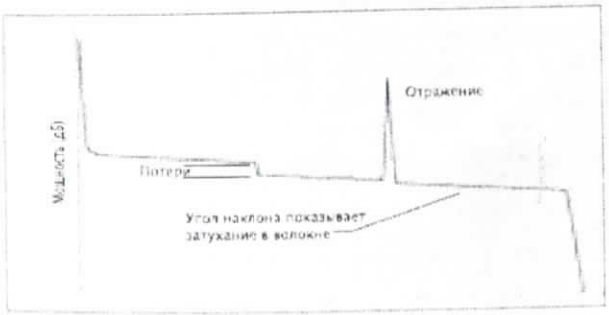


Рис.31. Участок кабеля, измеренный от входа разветвителя к выходу WDM мультиплексора

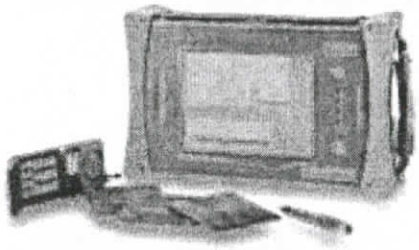


Рис.32. Рефлектометр

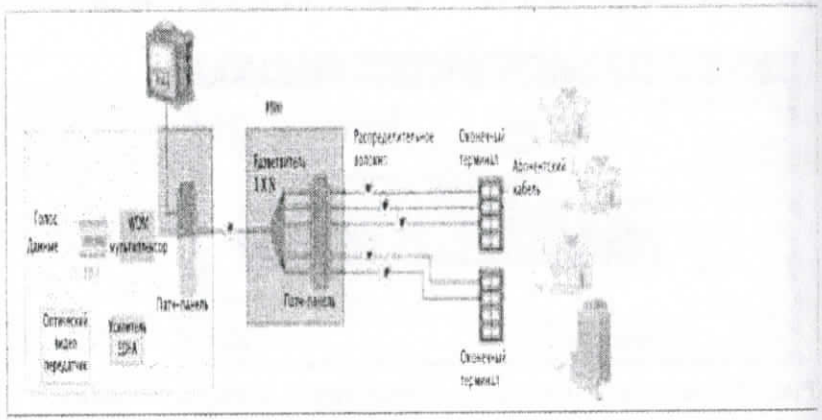


Рис.33.Тестирование основного и распределительных волокон от CO к оконечным терминалам

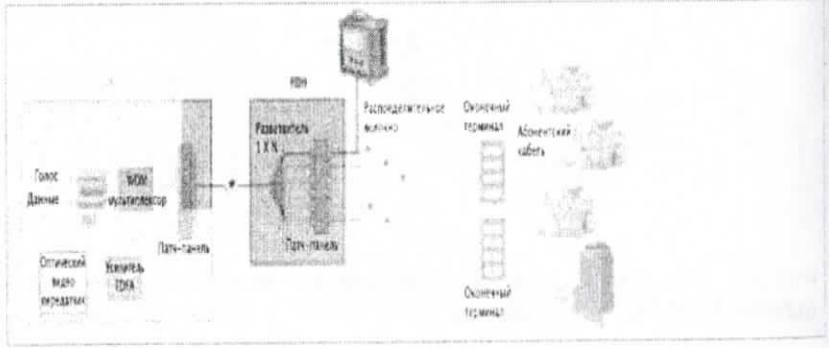


Рис.34.Тестирование с выходного порта разветвителя к CO

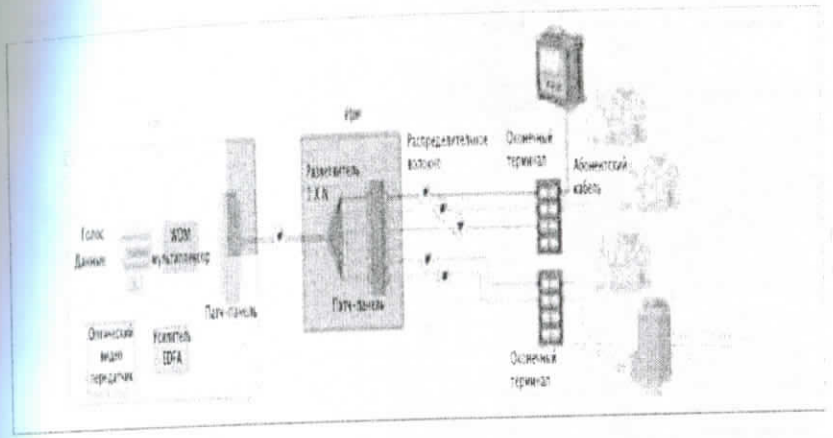


Рис.35.Тестирование с выходного порта оконечного терминала или ONT к CO

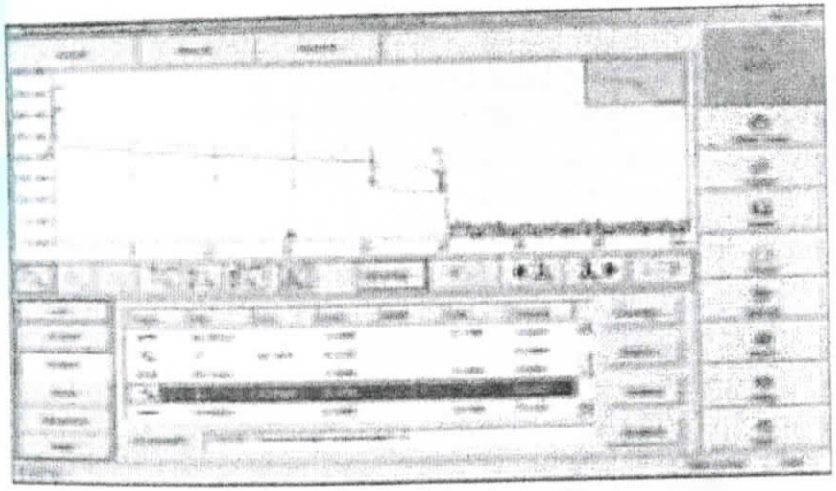


Рис.36. Упрощенная рефлектограмма

Категория	Скорость МБ/с	Класс	Мощность дБм		Рек. ITU-T
			Мин	Макс	
Rx чувствительн.	155	A	-27	-5	984.2
Rx чувствительн.	155	B	-30	-8	984.2
Rx чувствительн.	155	C	-33	-11	984.2
Rx чувствительн.	155	A/B	-30	-8	983.1
Tx мощность	155/622	A	-6	0	983.1
Tx мощность	155/622	B	-4	2	983.1
Tx мощность	155/622	C	-2	4	983.1
Rx чувствительн.	155/622	C	-33	-11	983.1
Rx чувствительн.	622	A/B	-30	-8	983.1
Tx мощность	622	A	-5,5	-1	983.3 Попр.1
Tx мощность	622	B/C	-0,5	4	983.3 Попр.1
Rx чувствительн.	622	A/B	-28,5	-6	983.3 Попр.1
Rx чувствительн.	622	C	-33,5	-11	983.3 Попр.1
Rx чувствительн.	622	A/B	-27	-6	984.2
Rx чувствительн.	622	C	-32	-11	984.2
Tx мощность	1244	A	-4	1	984.2
Tx мощность	1244	B	1	6	984.2
Tx мощность	1244	C	5	9	984.2
Rx чувствительн.	1244	A	-24	-3	984.2
Rx чувствительн.	1244	B	-28	-7	984.2
Rx чувствительн.	1244	C	-29	-8	984.2
Tx мощность	2488	A	0	4	984.2
Tx мощность	2488	B	5	9	984.2
Tx мощность	2488	C	3	7	984.2
Rx чувствительн.	2488	A/B/C	FFS	FFS	984.2

Таблица.4. Требования к оптическому бюджету для OLT одноволоконной типологии.

Рис.37. Измеритель мощности для PON-PPM-350, производства компании EXFO

Категория	Скорость МБ/с	Класс	Мощность дБм		Рек. ITU-T
			Мин	Макс	
Rx чувствительн.	155	A/B	-30	-8	983.1
Tx мощность	155/622	A	-6	0	983.1
Tx мощность	155/622	B	-4	2	983.1
Tx мощность	155/622	C	-2	4	983.1
Rx чувствительн.	155/622	C	-33	-11	983.1
Rx чувствительн.	622	A/B	-28	-6	983.1
Tx мощность	622	A	-7,5	-1	983.3 Попр.1
Tx мощность	622	B/C	-2,5	-4	983.3 Попр.1
Rx чувствительн.	622	A/B	-26,5	-6	983.3 Попр.1
Rx чувствительн.	622	C	-31,5	-11	983.3 Попр.1
Tx мощность	622	A	-6	-1	984.2
Tx мощность	622	B/C	-1	4	984.2
Tx мощность	1244	A	-3	2	984.2
Tx мощность	1244	B	-2	3	984.2
Tx мощность	1244	C	2	7	984.2
Rx чувствительн	1244	A/B	-25	-4	984.2
Rx чувствительн	1244	C	-26	-4	984.2
Tx мощность	2488	A/B/C	FFS	FFS	984.2
Rx чувствительн	2488	A/B	-21	-1	984.2
Rx чувствительн	2488	C	-28	-8	984.2

Таблица.5. Требования к оптическому бюджету для одноволоконной топологии PON (максимальная чувствительность приемника(Rxmax) называется перегрузкой)

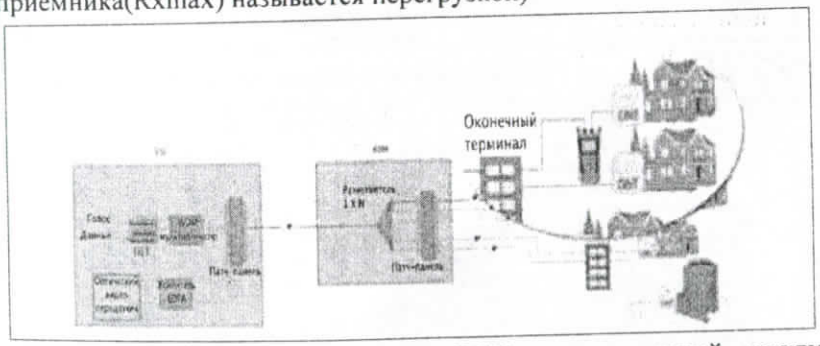


Рис.38.Измеритель мощности для PON, подключенный между оконечным терминалом и ONT

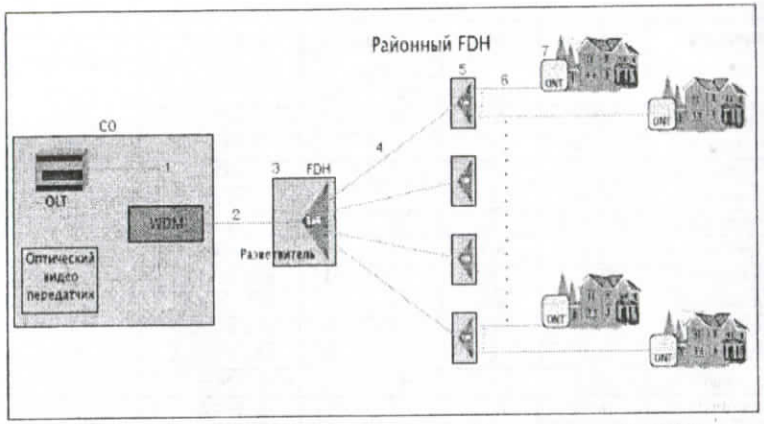


Рис.39. Зоны для поиска неисправностей в типичной FTTx сети

Таблица.6 Расположение проблемы в типичной FTTx сети

Проблемные ONT	Возможное расположение проблемы
Все ONT или несколько ONT (наиболее удаленные) в сети	В CO (зона 1) В районе основного волокна (зона 2) На главном FDH (зона 3)
Все ONT или несколько ONT (наиболее удаленные) в одной ветви	На главном FDH (зона 3) Вдоль промежуточного кабеля (зона 4) На втором FDH (зона 5)
Один ONT	На последнем FDH (зона 5) Вдоль распределительного волокна (зона 6) На оконечном терминале, в абонентской проводке или на ONT (зона 7)

Таблица содержит список наиболее общих возможных проблем и шагов по их устранению

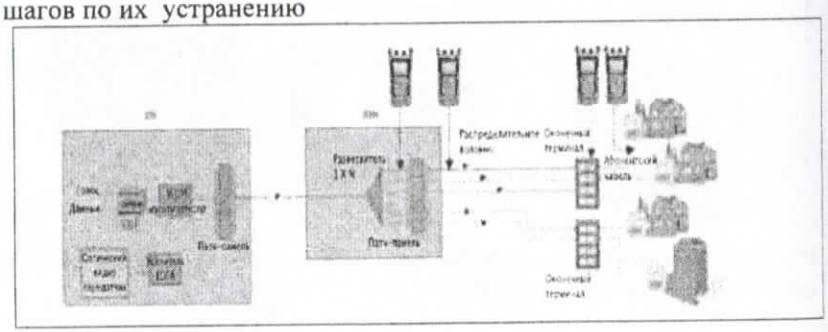


Рис.49. Использование измерителя мощности PON для поиска и устранения неисправностей в различных точках сети

Проблема	Возможная причина	Меры по устранению
Неверная работа одного из ONT. Низкая оптическая мощность на ONT.	Загрязненные/Поврежденные коннекторы или чрезмерные макроизгибы после последнего разветвителя	На конце абонентской части: ❑ Измерьте оптическую мощность ❑ Проверьте коннекторы На оконечном терминале: ❑ Измерьте оптическую мощность ❑ Проверьте коннекторы На выходе разветвителя: ❑ Измерьте оптическую мощность ❑ Проверьте коннекторы
Один из ONT не работает. Нет оптической мощности	Обрыв волокна после последнего разветвителя (в распределительном кабеле или абонентском кабеле)	❑ Измерьте оптическую мощность на ONT для того, чтобы убедиться, что нет сигнала ❑ Измерьте оптическую мощность на оконечном терминале Если сигнал есть: Проблема в абонентском кабеле. ❑ Протестируйте кабель от ONT или оконечного терминала, используя VFL или OTDR Если сигнала нет: Проблема в распределительном кабеле. ❑ Протестируйте распределительный кабель от оконечного терминала, используя OTDR
Один ONT неверно работает. Уровень мощности на ONT в норме.	Проблемы в аппаратной части ONT	❑ Обратитесь к производителю за помощью в устранении неисправностей

Таблица.7. Устранение неисправностей

Проблема	Возможная причина	Меры по устранению
Некоторые или все ONT, подключенные к одному разветвителю имеют проблемы в работе. Уровень мощности на ONT низок.	Загрязненные/Поврежденные коннекторы или макроизгибы перед разветвителем.	На выходе разветвителя: ❑ Измерьте оптическую мощность ❑ Проверьте коннекторы Проверьте наличие макроизгибов (внутри и за пределами FDH) На входе разветвителя: ❑ Измерьте оптическую мощность ❑ Проверьте коннекторы
Все ONT, подключенные к одному разветвителю не работают. Нет оптической мощности.	Обрыв волокна перед последним разветвителем.	❑ Протестируйте основное волокно (или волокна между разветвителями в случае линии с несколькими разветвителями) Для этого используйте OTDR. Тестирование производится с ONT оконечного терминала или разветвителя.
Все ONT не работают. Нет оптической мощности.	Обрыв основного волокна или проблемы на CO.	❑ Протестируйте основное волокно с помощью OTDR из FDH или CO ❑ Измерьте выходную мощность OLT ❑ Измерьте мощность видеосигнала перед WDM мультиплексором ❑ Измерьте выходную мощность WDM мультиплексора ❑ Проверьте оборудование в CO
Увеличение BER	Недостаточный уровень мощности на ONT или проблемы в аппаратной части ONT	❑ Выполните необходимые шаги, описанные выше. ❑ Обратитесь к производителю ONT за помощью в устранении неисправностей
Периодически возникающая проблема	Проблемы в аппаратной части ONT	❑ Обратитесь к производителю ONT за помощью в устранении неисправностей

Таблица.8. Поиск и устранение неисправностей

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основной:

1. Андрушко Л.М., Гроднев И.И., Панфилов И. П. Волоконно – оптические линии связи. – М.: Связь, 1985. – 136 с.
2. Иоргачёв Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно- оптические кабели и линии связи. - М.: Эко-Трендз, 2002. - 284 с.
3. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи: конструкция и характеристики. - М.: Горячая линия – Телеком, 2002. -232 с.
4. Р.И. Исаев, Р.К. Атаметов., Р.Н. Раджапова. Телекоммуникация узатиш тизимлари. – Т. "Фан ва технология",2011.
5. Основы построение телекоммуникационных систем и сетей: 0-75. Учебник для вузов / В. В. Крухмалев., В. Н. Гордиенко., А. Д. Моганов и др; Под ред. В. Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.:Горячая линия – Телеком, 2004.
6. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET, и WDM).- М: Радио и связь, 2000
7. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET, и WDM).- М.: Радио и связь, 2000.
8. Волоконно-оптические сети.- Москва: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000

Дополнительный:

1. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. - М.: Компания Сайрус Системс, 1999. - 672 с.
2. Верник С. М. Иванов В. С. Кочановский Л. Н.. Волоконно-оптические линии связи: - Л. : ЛЭИС, 1982. - 64 с.
3. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET, и WDM).- М: Радио и связь, 2000.
4. Волоконно-оптические сети.- Москва: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
5. Бакланов И.Т. Технологии измерений в современных телекоммуникациях, 1997.
6. Волоконная-оптика: компоненты, СП, измерения. Иванов А.Б.- Москва: компания Сайрус системс, 1999.
7. Волоконно-оптическая техника: Современнге состояние и перспективы. -2-е изд., перераб. и доп./ сб. статей под ред. Дмитриева С. А. и Слепова Н. Н. –М.: ООО «Волоконно – оптическая техника», 2005.
8. Р.Р. Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. – Москва.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
9. Бакланов И.Т. Технологии измерений в современных телекоммуникациях, 1997.
10. Ю. А. Парфенов, Д. Г Мирошников. Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование.-М.: Эко-трендз, 2005.
11. Р.Фримен. Волоконно–оптические системы связи. – Москва: Техносфера, 2003.
12. 11.Васильев И. И., Птичников М. М. Измерение в цифровых сетях связи. М.: Пастмеркет, 2004.

Интернет сайты

13. httr: //www.telecomsistes.ru
14. httr: //www.nnz-telecom.ru
15. httr: //www.comnews.ru
16. httr: //www.e.rus.ru
17. httr: //www.db.icsti.ru
18. httr: //www.ukrintell.com.ua
19. httr: //www.istc.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 4

ВВЕДЕНИЕ 7

I. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВОЛС. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 10

1.1. Основные этапы развития линий связи. Эволюция проводных линий связи 10

1.2. Направляющие системы передачи 13

1.3. Волоконно-оптические кабели 16

1.4. Основные требования к линиям связи 21

1.5. Сравнение линий связи различных типов 22

1.6. Классификация сетей связи 25

1.7. Структура сетей связи 44

1.8. Перспектива развития сетей 51

1.9. Основные понятия и термины ВОЛС.Этапы развития волоконно-оптческой связи 53

II. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПАРАМЕТРЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН 70

2.1. Типы оптических волокон.Оптические кабели, их конструкции и свойссвойства 70

2.2. Основные составляющие элементов оптоволокна.Строение оптоволокна 76

2.3. Основные физические понятия 78

2.4. Классификация волоконно-оптических кабелей 93

2.5. Основные характеристики типовых кабелей 95

2.6. Распространение света в оптическом волокне 103

2.7. Параметры оатических волокон 107

2.8. Типы волн в оптическом волокне 113

III. КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ СВЯЗИ. 121

3.1. Оптоэлектронные компоненты волоконно-оптической сети связи 121

3.2. Классификация оптических кабелей 125

3.3. Построение разъемных оптических кабелей 138

3.4. Неразъемные соединения ОВ – склеивание, сварка 139

3.5. Оптические разветвители 140

3.6. Оптические разветвители., мультиплексоры,демультиплексоры. 148

3.7. Технология CWDM 152

IV. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ 157

4.1. Назначение электрических измерений 157

4.2. Виды измерений 159

4.3. Измерения затуханий 163

4.4. Проведение измерения оптических параметров сети FTTH 174

V. СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЛС 184

5.1. Разработка волоконно-оптической линии связи 184

5.2. Типы используемых оптических коннекторов и адаптеров 191

5.3. Механическое соединение оптических волокон 192

5.4. Строительство ВОЛС.Методы прокладки оптических кабелей 194

VI. ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ЛИНЕЙНЫМ ТРАКТАМ 204

6.1. Состояние и перспективы развития ВОЛС 204

6.2. Состояние и перспективы развития ВОЛС 212

VII. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ 215

7.1. Оптическая связь и волоконно-оптические системы 215

7.2. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи 219
7.3. Использование волоконной оптики в транспортной сети телекоммуникаций 222
7.4. Использование волоконной оптики в сети абонентского доступа 229
7.5. Использование оптических линий связи в системах телекоммуникацийю.Структурированные кабельные системы..... 244
7.6. Место развёртывания сети FTTH 258
VIII. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ВОЛС 271
8.1. Прокладка в грунт 271
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 286
ПРИЛОЖЕНИЯ 288
ТЕСТЫ 311
РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ 319
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 346

ТУЛКИН ЗАКИРОВИЧ ТЕШАБАЕВ,
НОДИР ХОДЖАЕВ,
ДИЛШОД АМИНОВИЧ МИРЗАЕВ

СЕТИ И СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

(Учебное пособие)

Ташкент – «Aloqachi» – 2020

Редактор: К.Маткурбанов
Тех. редактор: А.Тагаев
Художник: Б.Эсанов
Корректор: Г.Тагаева
Компьютерная верстка: Б.Бердимурадов

Изд. лиц. Ii №176. 11.06.2010.
Разрешено в печать 12.12.2019 .
Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. п.л. 22,5. Изд.п.л. 22,0. Тираж 60. Заказ № 145.