

# Лекция 1 Основные сведения о ВОЛС

## 1.1. Общие положения

Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) - это вид системы передачи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием "оптическое волокно". Волоконно-оптическая сеть - это информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии связи. Технологии волоконно-оптических сетей помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей.

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

### Преимущества ВОЛС

*Широкая полоса пропускания* - обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей  $10^{14}$  Гц [3]. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания - это одно наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой информации.

*Малое затухание светового сигнала в волокне.* Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2-0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчете на один километр. Малое затухание и дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью 100 км и более [4].

*Низкий уровень шумов* а волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода.

*Высокая помехозащищенность.* Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медно-кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). В многоволоконных кабелях также не возникает проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям.

*Малый вес и объем.* Волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньший вес и объем сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность. Например, 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см, может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно "одеть" в множество защитных оболочек и покрыть стальной ленточной броней,

диаметр такого ВОК будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого телефонного кабеля [5, 6]

*Высокая защищенность от несанкционированного доступа.* Поскольку ВОК практически излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-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 [7]. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных. Рассмотрение волоконно-оптических сенсорных систем выходит за рамки материала данной книги.

*Гальваническая развязка элементов сети.* Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Волокно помогает избежать электрических "земельных" петель, которые могут возникать, когда два сетевых устройства неизолированной вычислительной сети, связанные медным кабелем, имеют заземления в разных точках здания, например на разных этажах. При этом может возникнуть большая разность потенциалов, что способно повредить сетевое оборудование. Для волокна этой проблемы просто нет.

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

*Экономичность ВОК.* Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди. В настоящее время стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5. При этом ВОК позволяет передавать сигналы на значительно большие расстояния без ретрансляции. Количество повторителей на протяженных линиях сокращается при использовании ВОК. При использовании солитонных систем передачи достигнуты дальности в 4000 км без регенерации (то есть только с использованием оптических усилителей на промежуточных узлах) при скорости передачи выше 10 Гбит/с [8].

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

*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. Такой кабель широко используется как в России, так и за рубежом.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, волоконно-оптические системы имеют также и недостатки, главным образом из-за дороговизны прецизионного монтажного оборудования и надежности лазерных источников излучения. Многие из недостатков вероятнее всего будут нивелированы с приходом новых конкурентоспособных технологий в волоконно-оптические сети.

## Недостатки ВОЛС

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

*Монтаж и обслуживание оптических линий.* Стоимость работ по монтажу, тестированию и поддержке волоконно-оптических линий связи также остается 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 все более совершенные инструменты для монтажных работ с ВОК, снижая цену на них.

*Требование специальной защиты волокна.* Прочно ли оптическое волокно? Теоретически да. Стекло, как материал, выдерживает колоссальные нагрузки с пределом прочности на разрыв выше ГПа ( $10^9$  Н/м<sup>2</sup>) [9]. Это, казалось бы, означает, что волокно в единичном количестве с диаметром 125 мкм выдержит вес гири в 1 кг. К сожалению, на практике это не достигается. Причина в том, что оптическое волокно, каким бы совершенным оно не было, имеет микротрещины, которые инициируют разрыв. Для повышения надежности оптическое волокно при изготовлении покрывается специальным лаком на основе эпоксиакрилата, а сам оптический кабель упрочняется, например нитями на основе кевлара (kevlar'). Если требуется удовлетворить еще более жестким условиям на разрыв, кабель может упрочняться специальным стальным тросом или стеклопластиковыми стержнями. Но все это влечет увеличение стоимости оптического кабеля.

Преимущества от применения волоконно-оптических линий связи настолько значительны, что несмотря на перечисленные недостатки оптического волокна, дальнейшие перспективы развития технологии ВОЛС в информационных сетях более чем очевидны.

## Типовая схема системы волоконно-оптической связи

Типовая схема системы связи, использующей ВОЛС, показана на рис. 1.1. Аналоговый сигнал, генерируемый оконечным оборудованием данных (ООД), например, телефоном, терминалом, видеокамерой и т.д., приходит на узел

коммутации, где аналого-цифровой преобразователь (кодер) оцифровывает его в битовый поток. Битовый поток используется для модуляции оптического передатчика, который передает серию оптических импульсов в оптическое волокно. На приемной стороне импульсы света преобразуются обратно в электрический сигнал при помощи оптического приемника. Декодерная часть коммуникационной системы преобразует бинарный электрический поток обратно в аналоговый сигнал ООД. Обычно кодеры и декодеры, а так же оптические приемники и передатчики совмещаются в одном устройстве, так что образуется двунаправленный канал связи.



Рис. 1 - Типовая схема системы связи с использованием ВОЛС "точка-точка"

## 1.2. Основные компоненты ВОЛС

**Оптический передатчик** обеспечивает преобразование входного электрического (цифрового или аналогового) сигнала в выходной световой (цифровой или аналоговый) сигнал. При цифровой передаче оптический излучатель передатчика "включается" и "выключается" в соответствии с поступающим на него битовым потоком электрического сигнала. Для этих целей используются инфракрасные светоизлучающие диоды LED или лазерные диоды LD. Эти устройства способны поддерживать модуляцию излучаемого света с мегагерцовыми и даже гигагерцовыми частотами. При построении сетей кабельного телевидения оптический передатчик осуществляет преобразование широкополосного аналогового электрического сигнала в аналоговый оптический. В последнем случае оптический передатчик должен иметь высокую линейность.

**Оптический приемник** осуществляет обратное преобразование входных оптических импульсов в выходные импульсы электрического тока. В качестве основного элемента оптического приемника используются *p-l-n* и лавинные фотодиоды, имеющие очень малую инерционность.

Если приемная и передающая станции удалены на большое расстояние друг от друга, например на несколько сот километров, то может потребоваться одно или несколько промежуточных регенерационных устройств для усиления ослабевающего в процессе распространения оптического сигнала, а также для восстановления фронтов импульсов. В качестве таких устройств используются повторители и оптические усилители.

**Повторитель** состоит из оптического приемника, электрического усилителя и оптического передатчика. При передаче дискретного сигнала электрическое усиление, как правило, может сопровождаться восстановлением фронтов и длительностей передаваемых импульсов. Для этого повторитель принимает

оптический сигнала в синхронном или асинхронном режиме, в зависимости от стандарта передачи.

При *синхронном режиме* приемное устройство повторителя регулярно принимает синхроимпульсы, на основании которых настраивает свой таймер, задающий частоту для последующей передачи. Существует непрерывный битовый поток в линии. И даже если нет передачи данных, синхроимпульсы продолжают поступать. В передающую последовательность повторитель добавляет синхроимпульсы, предназначенные для синхронизации следующего каскада.

При *асинхронном режиме* передаваемая информация организуется в специальные пакеты данных кадры. Каждому пакету предшествует последовательность однотипных групп битов - преамбула. Именно преамбула обеспечивает синхронизацию приемного устройства, которое до начала приема находится в ждущем режиме.

Повторитель, который восстанавливает форму оптического сигнала до первоначальной, называется *регенератором*.

**Оптический усилитель** не осуществляет оптоэлектронного преобразования, как это делает повторитель или регенератор. Он, используя специальные активные среды и лазеры накачки, непосредственно усиливает проходящий оптический сигнал, благодаря индуцированному излучению. Таким образом, усилитель не наделен функциями восстановления скважности, в чем уступает повторителю. Однако, есть две основные причины, которые делают применение усилителя более предпочтительным.

1. Следует иметь в виду, что качество сигналов, передаваемых по оптическому волокну, даже если сегмент протяженный, остается очень высоким вследствие малой дисперсии и затухания. Также не велик уровень вносимых шумов из-за подверженности волокна влиянию электромагнитного излучения. Поэтому ретрансляция передаваемых данных простым усилением без полной регенерации становится весьма эффективной.

2. Оптический усилитель является более универсальным устройством, поскольку в отличие от регенератора он не привязан к стандарту передающегося сигнала или определенной частоте модуляции.

На практике на один регенератор может приходиться несколько последовательно расположенных оптических усилителей (до 4-8). Таким образом, эффективность использования оптических усилителей при построении волоконно-оптических магистралей большой протяженности очень высока.

**Волоконно-оптический кабель (ВОК).** Характерная строительная длина оптического кабеля (длина непрерывного участка кабеля, поставляемого на одном барабане) варьируется в зависимости от производителя и типа кабеля в пределах 2-10 км. На протяженных участках между повторителями (репитерами) могут помещаться десятки строительных длин кабелей. В этом случае производится специальное сращивание (как правило, сварка) оптических волокон. На каждом таком участке концы ВОК защищаются специальной герметичной проходной муфтой.