

## ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

С.И. Чичёв, канд. техн. наук  
Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра, г. Москва  
В.Ф. Калинин, доктор техн. наук,  
Е.И. Глинкин, доктор техн. наук  
Тамбовский государственный технический университет

*Ключевые слова и фразы:* оптика, волоконно-оптический кабель.

*Аннотация:* рассмотрены законы оптики, принцип передачи по оптическому волокну, виды оптоволокон и характеристики волоконно-оптических линий связи.

**Введение.** В оптоволоконной технологии используется волновая теория света, т.е. свет рассматривается как электромагнитная волна определенной длины. Для ее транспортировки используются изолированные оптически прозрачные среды. В однородной среде электромагнитная волна распространяется прямолинейно, однако на границе изменения плотности среды ее направление и качественный состав меняются. Рассмотрим упрощенный вариант с двумя граничащими средами с разной плотностью (рис. 1). [1].

Распространяясь в одной из них, луч может достигать поверхности другой под некоторым углом  $\alpha$  (к нормали поверхности). При этом волна частично отражается в среду из которой пришла под углом  $\beta$  и частично проникает в новую среду в измененном направлении под углом  $\gamma$ .

Согласно физическим законам распространения света угол падения луча равен углу отражения, т.е.  $\alpha = \beta$ . Также если обозначить величину плотности сред как  $n_1$  и  $n_2$ , то угол преломления  $\gamma$ , находится из соотношения  $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \gamma$  (1). Эффект преломления света может отсутствовать, т.е. возможна ситуация полного отражения света. Для этого достаточно, чтобы угол  $\gamma$  был хотя бы нулевым. Трансформируя выражение (1) получаем достаточное условие полного отражения света:

$$\sin \alpha = n_2/n_1.$$

Именно за счет данного эффекта в современных оптоволоконных технологиях удастся управлять распространением света в требуемой среде.

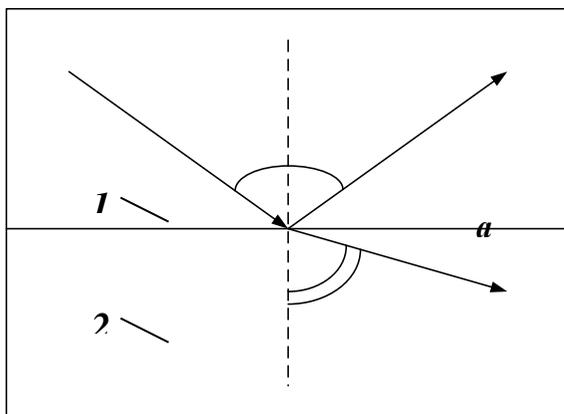


Рис. 1. Закон преломления в средах с разной плотностью  
 1 и 2 – среды плотностью  $n_1$  и  $n_2$ ;  $a$  – угол падения,  $b$  – угол отражения,  $c$  – угол преломления;  $a > b$ .

**Принцип передачи по оптическому волокну.** В качестве оптического передатчика обычно используется светоизлучающий лазерный диод ЛД, который преобразует электрический цифровой сигнал в оптический (рис. 2.) [2].

Оптический приемник – это фотодиод, который преобразует свет в электрический цифровой сигнал. Функцию передающей среды, по которой распространяется свет, созданный передатчиком, выполняют оптические волокна.

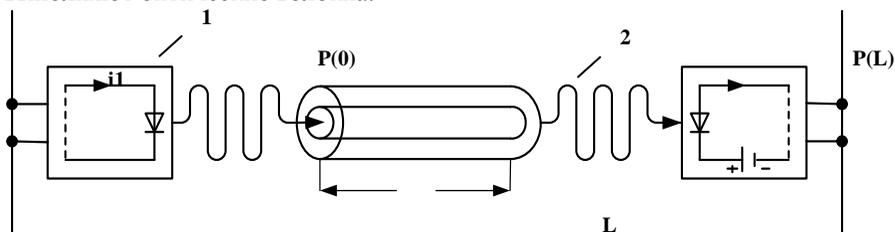


Рис. 2. Принцип передачи с использованием света

1 – лазерный диод (оптический передатчик), где  $i_L$  – ток лазерного диода;

2 – оптическое волокно, где  $L$  – длина оптической линии;

$i_2$  – фотодиод (оптический приемник), где  $i_2$  – ток фотодиода;  
 $P(0)$ ,  $P(L)$  – мощность на передаче и приеме

**Передатчик ВОЛС.** Волоконно-оптический канал линии связи (ВОЛС) начинается с источника света и заканчивается фотоприемником. В качестве источника света, как правило, используется полупроводниковый лазерный диод, который образует ядро передатчика. Отдельный лазер используется для каждого цвета или канала. При производстве оптоволокну каждый лазер вживляется в волокно. Сейчас производится много типов лазеров, но все они работают либо на одной частоте, либо подстраиваются. Обычно лазер может излучать только одну длину волны, но есть и подстраиваемые лазеры, способные менять длину волны. В обоих типах лазеров важно, что частота и интенсивность или яркость на выходе остаются постоянными, чтобы не вносить шумов в передачу. Это достигается путем использования систем контроля с обратной связью, которая чувствует изменения частоты или яркости и динамически вносит необходимые корректировки в работу лазерного диода. Эти устройства обычно встраивают внутрь корпуса передатчика.

Однако т.к. стабилизируется только один лазер, то могут возникнуть помехи от работы соседних по длине волны лазеров. Поэтому каждый лазерный луч направляется в специальный оптический аттенуатор, который гарантирует равную интенсивность излучения каждого канала. Это устройство работает также как клапан в водяной системе, реагируя на общую интенсивность излучения. Существует множество реализаций оптических аттенуаторов, и на данный момент не существует единого стандарта. Каждый имеет свои достоинства и недостатки. В конечном счете будет выработан единый стандарт, но сейчас применяется много способов стабилизации лазерного излучения.

Заключительной частью ВОЛС является оптический мультиплексор. Как и в случае с электронной схемой, мультиплексор направляет много сигналов от разных источников в один провод или, в данном случае, по оптическому волокну. То есть различные оптические сигналы (обычно 4, 8 или 16) объединяются в одном волокне для передачи. При этом существует несколько конкурирующих технологий волнового уплотнения.

**Приемник ВОЛС.** Сигналы линии ВОЛС, поступающие на приемник направляются на демультиплексор, который производит разделение каналов в обратном порядке. Затем сигналы преобразуются в электрические, которые может обрабатывать компьютер или телефон. Так заканчивается типичный канал ВОЛС. Волоконно-оптические каналы используются сегодня в отечественных и

международных сетях. Эти системы ВОЛС в конечном итоге получают наиболее широкое распространение, обеспечивая скорость передачи сигнала до нескольких терабайт в сек. Ниже рассмотрим составляющие компоненты, используемые в приёмниках и передатчиках ВОЛС.

**Принцип оптического волокна.** Простейшая модель оптического волокна может быть представлена двухслойным коаксиальным светодиодом, состоящим из внутренней сердцевины и окружающей оболочки с показателями преломления  $n_1$ ,  $n_2$  соответственно (см. рис.3,4).

Для передачи электромагнитной энергии по световоду используется явление полного внутреннего отражения на границе раздела двух сред, при этом необходимо, чтобы  $n_1 > n_2$ . Если угол падения  $\Phi_e$  непрерывно увеличивать, то угол преломления  $\Phi_v$  будет стремиться к 90 градусам. Угол падения, при котором угол преломления равен 90 градусам, называется критическим углом полного внутреннего отражения  $\Phi_g$ . Таким образом, если  $\Phi_e > \Phi_g$ , то луч полностью отражается на границе двух сред. Этот эффект позволяет лучу света отражаться много раз и распространяться по оптическому волокну.

Числовая апертура определяется формулой

$$N = \sqrt{2n_1(n_1 - n_2)}$$

и определяет угол при котором свет может распространяться с полным внутренним отражением.

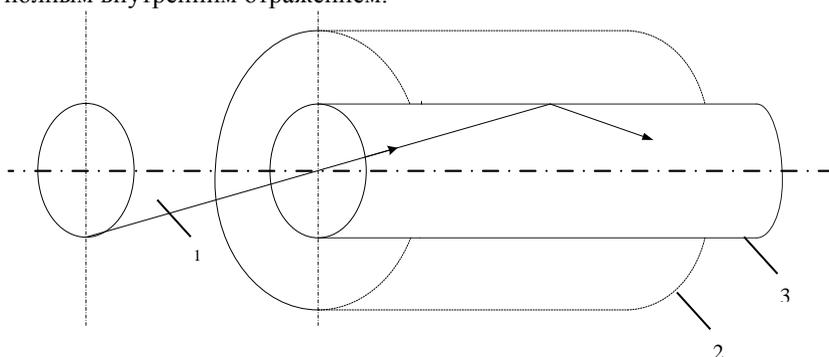


Рис.3. Модель оптического волокна

1 – сердцевина с показателем преломления  $n_1$  2 – оболочка с показателем преломления  $n_2 < n_1$ ; ( $n_0=1$  – показатель преломления в вакууме); 3 –  $\gamma_c$  критический угол допустимого угла  $\gamma_a \leq \gamma_c$ .

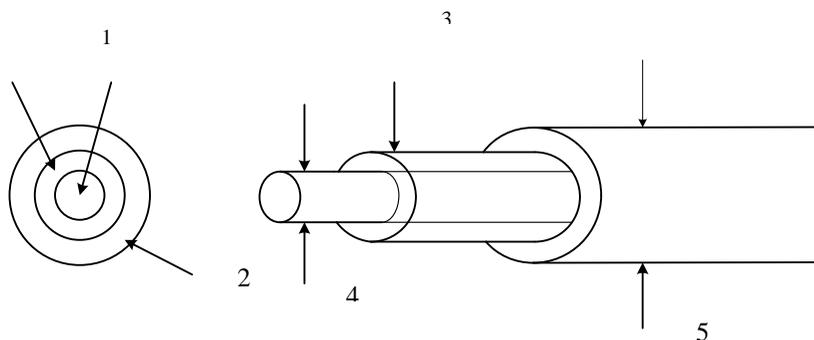


Рис.4. Волоконно-оптический кабель

1 – стекло; 2 – пластик; 3 – 125 мкм оптическая оболочка; 4 – 50 мкм сердцевина; 5 - 250 мкм защитная оболочка

Для того, чтобы передать свет на большие расстояния необходимо сохранить его мощность. Снизить потери при его передаче можно, во-первых обеспечив достаточно оптически прозрачную среду распространения, тем самым сведя к минимуму поглощение волны, и во-вторых обеспечить правильную траекторию движения луча. Первая задача в настоящее время решается с помощью применения высокотехнологичных материалов, таких как чистое кварцевое стекло.

Вторая задача решается с помощью закона оптики, описанного выше. За счет эффекта полного отражения света, можно заставить луч «гулять» внутри ограниченной замкнутой среды, проделывая путь от источника сигнала до его приемника. Однако для этого необходимо две среды с разной плотностью. Чаще всего в их качестве применяются кварцевые стекла различной плотности. Волну впускают в более плотную среду, ограниченную менее плотной. Среда вытягивают в так называемое оптическое волокно, сердцевину которого составляет более плотное стекло, в разрезе представляющее окружность и часто называемого световодом. Данный сердечник покрывают оболочкой из менее плотного стекла, при достижении которого транспортируемый сигнал будет полностью отражаться. Для предотвращения механических повреждений конструкция также снабжается защитной оболочкой, именуемой первичным покрытием.

Для достижения сигналом адресата, необходимо впускать в сердцевину лучи под углом к боковой поверхности не менее критического. В этом случае реализуется эффект полного отражения, и

теоретически луч никогда не покинет сердечника кроме как через окончание волокна. Однако на практике все же существует некоторый процент преломляемых лучей. Это связано, во-первых, со сложностью реализации подобного источника света, с невозможностью изготовления идеально ровного волокна, а также с не идеальной инсталляцией оптического кабеля.

Ниже на рис.5 показаны типы оптических волокон, которые различаются числом распространяемых типов волн (мод) в сердечнике. В многомодовых волокнах распространяются сотни типов волн [1].

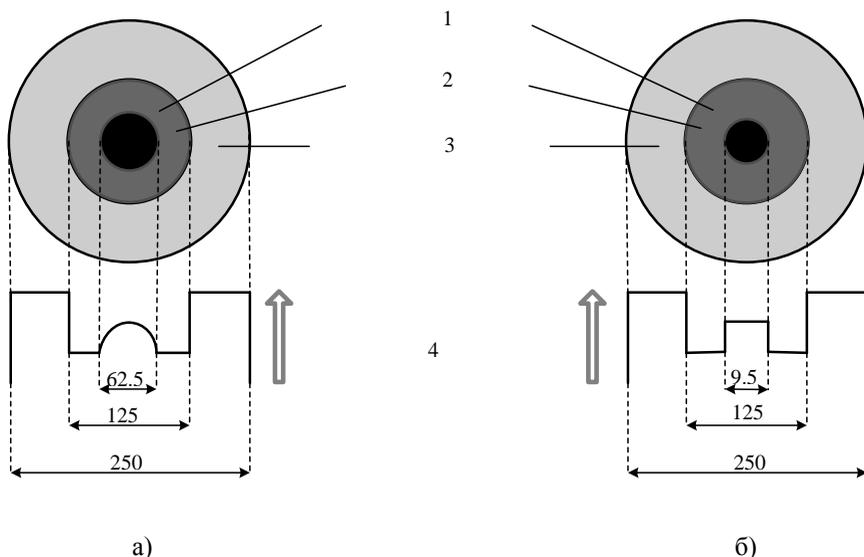


Рис.5. Типы оптических волокон

а – многомодовое; б – одномодовое; 1 – сердцевина; 2 – оболочка; 3 – верхняя оболочка; 4 – коэффициент преломления  $n$ .

В одномодовых волокнах теоретически распространяется только одна мода, однако на практике присутствуют несколько. Многомодовые волокна далее могут быть классифицированы согласно профилю показателя преломления в сердечнике оптического волокна (ступенчатый и градиентный профили). В оптической связи преимущественно используются одномодовые волокна для создания большей полосы пропускания.

*Многомодовое ступенчатое волокно.* Основное различие между вариантами оптического волокна состоит в свойствах применяемого в

них сердечника. Самый простой вариант сердечника - это кварцевое стекло с равномерной плотностью. Если отобразить плотности распределения слоев волокна, то получится ступенчатая картина, что и отображено в названии этого типа волокна. При достаточно большом радиусе равномерно плотного световода наблюдается эффект межмодовой дисперсии. Ее влияние на производительность оптического канала оказывается много больше межчастотной и материальной. Поэтому при расчете пропускной способности канала пользуются именно её показателями.

В настоящее время используют три стандартных диаметра сердечника многомодового волокна: 100 микрон, 62.5 микрон и 50 микрон. Наиболее распространены световоды диаметром 62.5 микрон, однако постепенно все более прочные позиции завоевывает сердечник 50 микрон. Вследствие простых геометрических законов распространения света несложно убедиться в его большей пропускной способности, поскольку он пропускает меньшее количество мод, тем самым уменьшая дисперсию импульса на выходе. Размер световодов выбран не случайно. Он непосредственно связан с используемой частотой световой волны. На данный момент выделяют три основных длины волны: 850 нм, 1300 нм и 1500 нм. Почему выбраны именно эти длины волн, мы поясним позже.

Многомодовые ступенчатые волокна обладают малой пропускной способностью относительно действительных возможностей света, в связи с этим чаще в многомодовой технологии используют градиентные волокна.

*Многомодовое градиентное волокно.* Название волокна говорит само за себя. Основное отличие градиентного волокна от ступенчатого заключается в неравномерной плотности материала световода. Если отобразить плотности распределение на графике, то получится параболическая картина. Эффект межмодовой дисперсии, как и в случае ступенчатой схемы все же проявляется, однако намного меньше. Это легко объяснимо с точки зрения геометрии. На рисунке видно, что длины пути лучей сильно сокращены за счет сглаживания. Более того интересен тот факт, что лучи проходящие дальше от оси световода хотя и преодолевают большие расстояния, но при этом имеют большие скорости, так как плотность материала от центра к внешнему радиусу уменьшается. А световая волна распространяется тем быстрее, чем меньше плотность среды.

В итоге более длинные траектории компенсируются большей скоростью. При удачно сбалансированном распределении плотности стекла, возможно, свести к минимуму разницу во времени распространения, за счет этого межмодовая дисперсия градиентного волокна намного меньше. Как и в случае со ступенчатым волокном, в

настоящее время используют три стандартных диаметра градиентного сердечника: 100 микрон, 62.5 микрон и 50 микрон, работающих также на частотах 850 нм, 1300 нм и 1500 нм. Однако насколько не были бы сбалансированны градиентные многомодовые волокна, их пропускная способность не сравнится с одномодовыми технологиями.

*Одномодовое волокно.* Согласно законам физики, при достаточно малом диаметре волокна и соответствующей длине волны через световод будет распространяться единственный луч. Вообще сам факт подбора диаметра сердечника под одномодовый режим распространения сигнала говорит о частности каждого отдельного варианта конструкции световода. Т.е. при употреблении понятий много- и одномодовости следует понимать характеристики волокна относительно конкретной частоты используемой волны. Распространение лишь одного луча позволяет избавиться от межмодовой дисперсии. Как уже отмечалась, именно эта дисперсия имеет наибольшее влияние на пропускную способность канала. Величины материальной и межчастотной дисперсии на порядки меньше межмодовой. Однако одномодовое волокно исключает возможность распространения нескольких лучей, поэтому межмодовая дисперсия отсутствует, в связи с чем одномодовые световоды на порядки производительнее. На данный момент применяется сердечник с внешним диаметром около 8 микрон. Как и в случае с многомодовыми световодами, используется и ступенчатая и градиентная плотность распределения материала. Второй вариант более производительный. Одномодовая технология более тонкая, дорогая и применяется в настоящее время в телекоммуникациях, многомодовые же кабели завоевали свою нишу в локальных компьютерных сетях.

*Затухание сигнала, окна прозрачности.* Кроме сложностей, связанных с уменьшением дисперсии волны, существует и проблема сохранения мощности передаваемого сигнала. Хотя световую волну сохранить легче, чем электрический ток, она испытывает эффект поглощения и рассеивания. Первый связан с преобразованием одного вида энергии в другой. Так волна определенной длины порождает в некоторых химических элементах изменение орбит электронов, в других происходит резонанс. Это в свою очередь и порождает преобразование энергии. Известно, что поглощение волны тем меньше, чем меньше ее длина (см. рис.6).

В связи с этим применять чрезмерно длинные волны невозможно, так как резко возрастают потери при нагреве световодов. Однако с другой стороны безгранично снижать длины волн тоже нецелесообразно, так как в этом случае возрастают потери на рассеивании сигнала. Именно баланс рассеивания и поглощения волны

определяет диапазон применяемых волн в оптоволоконных технологиях (см. рис.7). Теоретически лучшие показатели достигаются на пересечении кривых поглощения и рассеивания. На практике зависимость затухания несколько сложнее и связана с химическим составом среды, в которой распространяется волна.

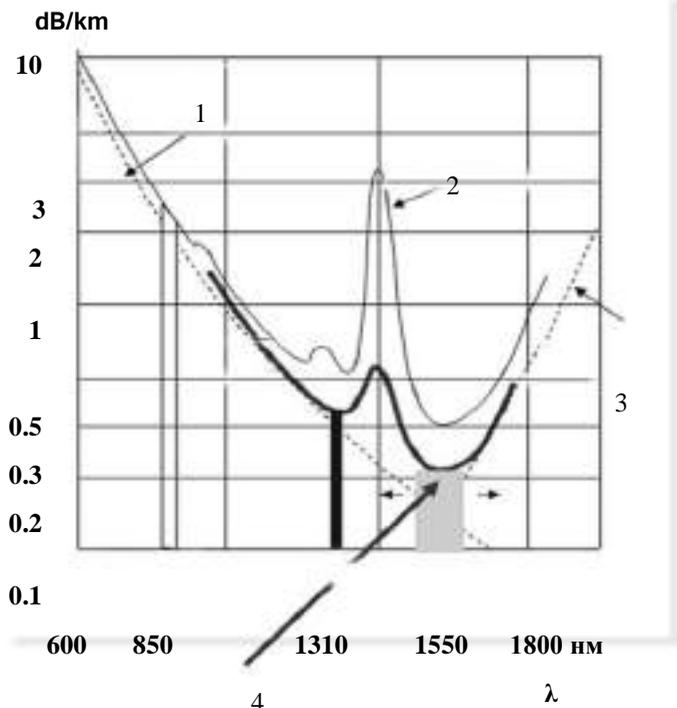


Рис. 6. График затухания световой волны, где:  
 1 – релеевское рассеяние; 2 – OH-поглощение; 3 – инфракрасное поглощение; 4 - доступно: 0,19 -0,20 dB/km;  
 850nm: 1-е Окно LANсети;  
 1300nm: 2-е Окно WANдо 80 км;  
 1550nm: 3-е Окно WANдо 130 км, с усилителем до 300 км

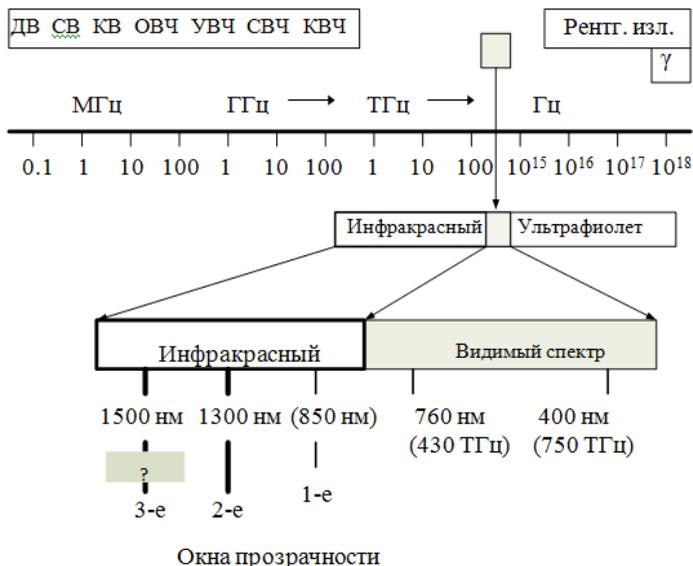


Рис. 7. Схема окон прозрачности

В световодах основными химическими элементами являются кремний и кислород, каждый из которых проявляет активность на определенной частоте волны, с чем связано ухудшение теоретической прозрачности материала световода в двух окрестностях. В итоге образуются три окна в диапазоне длин волн. В рамках этих окон затухание волны имеет наименьшее значение. Сам параметр оптических потерь измеряется в децибелах на километр.

*Используемые длины волн.* Именно «окна прозрачности» определили длины волн, которые используются в современных оптоволоконных технологиях. Чаще всего это три длины: 850 нм, 1300 нм и 1500 нм (см. рис.6,7). Наиболее качественной и высокоскоростной связью обладают каналы на основе волн длиной 1500 нм. Однако оконечное оборудование, способное работать на данной длине волны значительно дороже и предполагает применение только лазерных источников света. Поэтому зачастую возникает проблема оценки экономической целесообразности применения подобных сетей. Рабочая длина волны 850 нм наиболее характерна для многомодовых волокон, тогда как одномодовые волокна применяются

для волн длиной на 1500 нм. Имеется множество различных устройств, которые способны преобразовывать электронные сигналы в световое излучение и наоборот, что необходимо для дальнейшего их применения в волоконно-оптических телекоммуникационных системах. Но, в настоящее время, только два типа таких устройств: светодиоды и инжекционные лазеры, вырабатывают излучение, которое действительно пригодно для использования в волоконно-оптических линиях. Устройства обоих типов представляют собой полупроводниковые диоды с переходами на основе соединений элементов третьей и пятой групп периодической таблицы (например, арсенид галлия или фосфид индия).

Информационный канал ВОЛС.

Важным элементов ВОЛС является сам канал. В своей простейшей форме канал – это участок оптоволоконна между приемником и передатчиком, где основными элементами для организации связи на большие расстояния, например, являются (рис. 8):

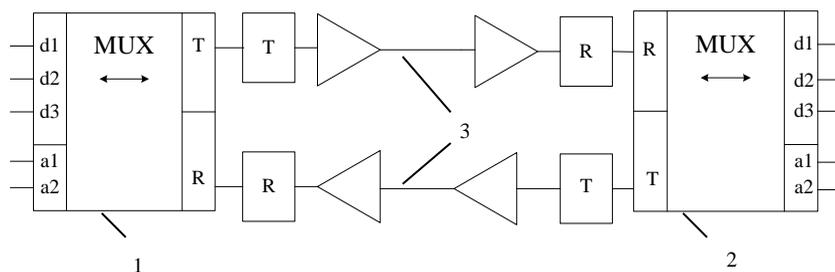


Рис. 8. Схема участка ВОЛС, где 1 - Терминал: ADM (AddMultiplexer); 2 -Терминал: ADM; 3 – оптический кабель  
 - лазерный диод (Т) посылает оптические импульсы;  
 - фотодиод (R) принимает оптические импульсы;  
 - кабель с оптическими волокнами;  
 - оптические усилители;  
 - терминал (MUX) - мультиплексор сигналов в реальном времени (TDM);  
 - интерфейсы для различных сигналов (речь, данные, релейная защита).

Проблема в том, что оптические волокна ВОЛС ослабляют сигнал. Он рассеивается и нуждается в регенерации и повторении без потери информации. Типичный трансконтинентальный оптоволоконный канал имеет от 80 до 100 усилительных ретрансляционных станций. Есть также места, когда один или

несколько каналов необходимо отделить от общего или наоборот добавить. Для выполнения этих задач ретрансляционные станции строятся непосредственно вдоль оптоволоконной линии.

Оптическая ретрансляционная станция обычно содержит несколько различных устройств, основная функция которых заключается в очистке сигнала от деградации и его усиления. Сигналы разных цветов в линиях ВОЛС передаются с разной скоростью. Это явление называется хроматической дисперсией. Если хроматическая дисперсия возникает на длинных участках, то это может приводить к помехам в работе соседних каналов и возникновению ошибок. Таким образом, каждая ретрансляционная станция ВОЛС имеет устройство, называемое компенсатором дисперсии. Следующей задачей узла ретрансляции является усиление сигнала до уровня, необходимого для передачи сигнала дальше по оптоволокну. Это устройство называется волоконным усилителем (EDFA). EDFA делает возможным передачу оптического сигнала на большие расстояния.

*Преимущества ВОЛС.* Передача информации по ВОЛС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю. Стремительное внедрение в информационные сети ВОЛС является следствием преимуществ, вытекающих из особенностей распространения сигнала в оптическом волокне [3,4].

*Широкая полоса пропускания* – обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 1014МГц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания - это одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи 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 небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более.

*Низкий уровень шумов в волоконно-оптическом кабеле (ВОК)* позволяет увеличить полосу пропускания, 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 медных 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 имеют меньший вес и объем по 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.

*Высокая защищенность от несанкционированного доступа.* Поскольку ВОК практически не 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. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.

*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 большие расстояния без ретрансляции. Количество повторителей на протяженных линиях

сокращается при использовании ВОК. При использовании солитонных систем передачи достигнута дальности в 4000 км без регенерации (то есть только с использованием оптических усилителей на промежуточных узлах) при скорости передачи выше 10 Гбит/с.

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

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

Таким образом, технологии ВОЛС помимо вопросов теории волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей.

#### Литература:

1. Основные понятия и области применения ВОЛС [Электронный ресурс]//ООО «Спектр» - ВОЛС: 2012. – Режим доступа: <http://www.spektr-svyaz.ru/index/0-2>. – Загл. с экрана.
2. Учебные материалы фирмы АВВ для повышения квалификации сотрудников МЭС Центра [Текст]: Москва, 2007г. – 250с.
3. Чичёв, С.И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей [Текст] / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин: Машиностроение. – Москва, 2009. – 176с.
4. Чичёв, С.И. Корпоративная интегрированная система контроля и управления распределительным электросетевым комплексом [Текст] / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин: Спектр. – Москва, 2012. – 228с.

Чичев Сергей Иванович, Филиал ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» – Московские энергетические сети – Центра, г. Москва, Российская Федерация, кандидат технических

наук, ведущий инженер системы автоматизации и телемеханики; Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кафедра биомедицинской техники, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)

Калинин Вячеслав Федорович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования и автоматизации, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской техники, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)

## THEORY AND TECHNOLOGY OF FIBER-OPTIC COMMUNICATIONS

SI Chichewa, PhD. tech. Sciences Branch of JSC "FGC UES" - MES Center, Moscow VF Kalinin, the doctor tehn. Science EI Glinkin, doctor tech. Tambov State Technical University.

Key words: optics, fiber-optic cable

Abstract: The laws of optics, the principle of transmission over optical fiber, optical fiber types and characteristics of fiber-optic communication lines.

Chichyov Sergey Ivanovich, Branch of JSC "Federal Grid Company of Unified Energy System" – Moscow Center Energetic Grids, Moscow, Russian Federation, Candidate of Technics, Leading Engineer of System of Automatization and Tele-mechanics, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Bio-medical Technics Department, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)

Kalinin Vyacheslav Fyodorovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor of Electronic Equipment and Automation Department, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)  
Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)