

Раздел РПД 1. Разработка вопросов проектных решений по участкам ОСС.

### **1. Техническое задание на проектирование и его разделы.**

Начало всех работ по созданию участков, элементов, сегментов и их связей в общем сетевом решении предполагает наличие **технического задания на разработку**.

Это задание является основой для **всех** технических решений по элементам, структурам и сетевым топологиям, **всех** вопросов согласования и принятия решений по техническим, организационным, юридическим, коммерческим и пр. задачам, решаемых при создании новой сетевой структуры.

#### **1.1. Структура технического задания.**

В общем случае техническое задание для конкретного, участка (сегмента) сети, или абонентской сети широкополосного доступа микрорайона содержит следующие основные разделы;

- общие сведения и пожелания;
- назначение и цели создания ВОЛС;
- характеристика объектов;
- требования к проектируемой системе;
- состав и содержание работ по созданию системы;
- требования к документированию.

#### **Общие сведения и пожелания.**

В разделе отмечаются наиболее общие характеристики существующей ситуации в регионе (городе, пункте, объекте), рассматриваются перспективы развития и потребности в реализации задач по обеспечению широкополосного доступа в существующие или перспективные сети связи.

#### **Назначение и цели создания ВОЛС.**

Возможные применения ВОЛС весьма широки — от линии городской и сельской связи и бортовых комплексов (самолеты, ракеты, корабли) до систем связи на большие расстояния с высокой информационной емкостью.

На базе ВОЛС развивается единая интегральная сеть многоцелевого назначения, это сети широкополосного доступа для предоставления услуг **Triple Play (речь, видео, передача данных)**, что существенно расширяет возможности информационного обслуживания абонентов.

Основная задача определить назначение ВОЛС не в общем смысле, а конкретно, какой и сколько трафика будет по ней передаваться, какие проблемы должна решать проектируемая ВОЛС, определить показатели надежности и возможности резервирования по другим направляющим системам, что требует ответа на перечисленные ниже пункты.

Комплекс оборудования и ВОЛС предназначен для:

- обмена данными в сети передачи данных;
- доступ к ресурсам сети Интернет;

- обеспечения надежных каналов передачи информации в пределах сети передачи данных;
- подготовки основы для создания единого информационного пространства на территории региона;
- обеспечение систем безопасности и иных общественных сервисов на территории развертывания сети передачи данных;
- коммерческое использование полученных средств телекоммуникаций в интересах населения и предприятий региона.

#### **Характеристика объектов.**

В этом разделе технического задания приводятся характеристики объектов, куда должны быть направлены определенные потоки информации в соответствии с общей структурой организации связи. Основные сведения об объектах должны содержать:

- планы помещений и их «заполненность» существующим оборудованием;
- примерное место расположения нового оборудования, потребности в объемах, требованиях к кондиционированию помещений и поддержанию температурно-влажностного режима;
- определены возможности прокладки новых коммуникационных систем в структуре существующих кабельных каналов, кабель-ростов, кабельных лотков и пр.;
- рассмотрены вопросы размещения оборудования системы мониторинга ВОЛС и ее обеспечение техническим персоналом.

ВОЛС строится в интересах целого ряда организаций, фирм, банковских структур, а так же для обеспечения населения современными услугами связи, и позволяет объединить в единую сеть передачи данных в пределах района или города в целом.

ВОЛС строится как участок первичной сети с взаимодействием с городской сетью передачи данных, телефонии и состоит из магистральной части и сетей доступа (сети жилых домов - зональных СКС).

Магистральная часть связывает между собой населенные пункты, где предполагается развертывание вторичной сети. Она строится на базе волоконно-оптических кабелей (ВОК) связи.

Способ прокладки ВОК выбирается таким образом, чтобы минимизировать ее стоимость, она строится в виде смешанной топологии звезды и дерева.

Зональные СКС предполагается реализовывать, как на волоконно-оптическом кабеле по технологиям FTTx или PON, и на медном кабеле типа UTP категории не ниже 5-й. Вариант реализации будет определяться конкретными условиями. Предполагаемая технология среды функционирования СКС – Gigabit/10G, Ethernet, FTTx (C, B, H) EPON, GPON.

#### **Требования к проектируемой системе.**

В настоящем разделе технического задания должны быть изложены основные требования к системе (участку ВОЛС, сегменту сети), которые должны быть учтены при проектировании ВОЛС того или иного уровня:

- наличие стандартизированной оптической среды передачи данных;
- устойчивость системы передачи данных к изменениям затухания оптического сигнала;
- резервирование каналов передачи данных;
- выбор общего способа прокладки магистрального ВОК, ввода кабеля в помещения и его герметизации, а также разводке внутри объектовых кабелей и схема их взаимодействия;
- оценка возможности развития сети в рамках выбранной сетевой технологии при оптимальном соотношении цена/улучшения параметров, в условиях растущего трафика и требований к качеству приложений;
- достаточности скорости передачи информации для исполнения планируемых в сети приложений;
- управляемости - для обеспечения предоставления услуг разного уровня качества и разных по величине параметров;
- надежности и возможности резервирования, гарантирующие достаточное время бесперебойной работы, а также приемлемое время восстановления в случае аварии;
- безопасности информации;
- обеспечение требуемого качества обслуживания клиентов.

Состав проектируемой системы.

Устанавливаемая кабельная система строится по иерархическому принципу с применением однотипных решений для каждого уровня иерархии.

Гарантия на СКС.

Гарантийная поддержка кабельной системы монтируемой ВОЛС осуществляется в течении 25 лет с даты приема в эксплуатацию. Это подразумевает, что монтируемые каналы передачи данных сертифицируются и в течение 25 лет электрические характеристики каналов будут находиться в пределах диапазона параметров.

**Состав и содержание работ по созданию системы.**

Этот раздел технического задания очень важен с точки зрения планирования работ, необходимых для создания системы или ее частей. Если не предусмотреть тот или иной вид работ, то это приведет к возрастанию затрат на реализацию системы, т.к. эти работы все равно надо проводить, а деньги не заложены.

Можно привести примерный перечень работ в укрупненном виде, однако в проектных решениях должно быть четко оговорено какие работы и в какие сроки будут проводиться, поскольку это может потребовать согласований с другими организациями;

- исследование рынка оборудования, кабельных изделий, элементов пассивной оптики;
- работы по подготовке объектов к монтажным работам;
- поставка оборудования, аппаратуры, кабельных изделий, элементов пассивной оптики, проведение входного контроля;
- работы по организации ввода кабеля в здания и размещение аппаратуры;
- работы по организации кроссовых помещений;
- работы по каблированию горизонтальной кабельной подсистемы;
- работы по каблированию магистральной кабельной подсистемы;
- монтаж подсистемы рабочих мест;
- кроссировка кабельных подсистем;
- прозвонка и маркировка;
- приемо-сдаточные испытания;
- оформление документации.

Настоящий состав работ используется как приложение к договору на монтаж ВОЛС, который может быть дополнен календарным планом и соответственно бюджетом этапа, с указанием сроков поставки и монтажа оборудования.

#### **Требования к документированию.**

В ходе проведения работ по проектированию ВОЛС и объектов подготавливается:

- эскизный проект, описывающий, согласно техническому заданию, предварительные технические условия и виды работ, содержит результаты исследований, изыскательских работ и обоснований, неотъемлемой частью эскизного проекта являются протоколы согласований со всеми заинтересованными организациями, как по техническим параметрам проекта, так и по экономическим;
- техническое задание на создание проекта рабочей документации, определяет состав, объем, содержание рабочей документации;
- рабочая документация:

#### **Эскизный проект.**

Эскизный проект предназначен для оптимизации выбора решений по созданию структуры ВОЛС, ее назначению и функционированию, а также оценки затрат на реализацию того или иного варианта. Он предполагает в первую очередь проведение изыскательских работ.

Проектно-изыскательские работы проводятся в несколько этапов:

- на этапе формирования требований  
проводятся обследование объекта, сбор и анализ данных об объекте, это позволяет определить основные требования заказчика к необходимым системам или интегрированной системе, определиться с выбором вариантов;
- на этапе оформления технического задания на оснащение оборудованием

учитываются все пожелания и технические требования заказчика к системе, стандарты и положения прочих нормативных документов.

Документом, обобщающим исходную информацию и являющимся итогом нашей, совместной с заказчиком деятельности, в процессе выполнения пред проектных работ, является утвержденное сторонами техническое задание.

Сведения, полученные на этапе изыскательских работ, являются основой для разработки эскизного проекта, который создается:

- на систему в целом;
- модулей системы или отдельным ее частям;
- элементам широкополосного доступа к узлам мультисервисной сети.

#### **Технический проект.**

Проектные решения по системе и ее частям, модулям, элементам, узлам доступа, выполненные на основании согласованных вариантов реализации той или иной структуры системы, оформляются в виде пояснительной записки с соответствующими приложениями и документами на основе приведенных в эскизном проекте документацией на систему и ее части.

Документация на поставку оборудования для комплектования системы и ее частей, модулей, элементов, узлов доступа.

Пояснительная записка к техническому проекту, т.н. описательные части;

- описание комплекса технических средств;
- ведомости оборудования и материалов;
- программы и методики испытаний при поставке оборудования, после монтажа, в процессе проведения пуско-наладочных работ.

#### **Рабочая документация.**

Производится подготовка точных чертежей, схем и таблиц, позволяющих осуществить детальную привязку компонентов системы и всех, без исключения - модулей, элементов, оборудования, материалов и инструментов для их установки, к объекту (...ам), что является руководством для исполнительной (...ных) организаций при проведении работ по монтажу системы объекта (...ов).

#### **Сметная документация.**

Как правило, в проектной документации существуют две структуры сметных расчетов. Первая – это так называемые **локальные сметы**, которые составляются на все модули, элементы, оборудование, материалы, инструменты для их установки, а также работы, связанные с выполнением тех или иных задач. Вторая – это так называемый **сводный сметный расчет**, который характеризует суммарные затраты на реализацию системы. В нем появляются дополнительные статьи расходов такие как:

- выполнение работ в стесненных условиях;
- выполнение работ в зимний период;
- дополнительные расходы, связанные с отсутствием или невозможностью обеспечения в полном объеме, требуемым технологическим оборудованием;

- дополнительные расходы, обусловленные выполнением работ в соответствии с актами скрытых работ, которые не могли быть учтены в локальных сметах;
- непредвиденные расходы;
- прочие расходы.

Каждый, из перечисленных выше этапов заканчивается формированием полного комплекта документации, обеспечивающих Заказчика возможностью контроля реализации проекта и дальнейшего технического обслуживания.

### **Строительно-монтажные работы.**

Рассматриваются вопросы, связанные с особенностями реализации выбранных способов строительства ВОЛС в настоящем проекте. Эти особенности могут быть обусловлены климатическими условиями региона, где предполагается реализация системы, состоянием и наличием инфраструктуры, профилем трассы ВОЛС – особенно при выборе воздушных способов строительства, наличием различных переходов и пересечений с другими объектами. Кроме всего прочего, различные варианты реализации даже одного и того же способа строительства, требуют применения различных видов технологического оборудования, которое не всегда может быть представлено даже в самых высоко оснащенных строительно-монтажных организациях в силу огромного многообразия вариантов диктуемых природными условиями.

### **Пусконаладочные работы.**

Основные проблемы, которые возникают, это согласование параметров аппаратуры с параметрами линии. Даже при тщательном учете всех факторов в составе проектных решений при их реализации возникает очень много проблем инсталляции. Это, прежде всего, относится к узлам коммутации, преобразовательному оборудованию, правильным измерениям параметров оптических линий (трактов), тестовые испытания, паспортизация ВОЛС и оборудования и т.д.

После проведения работ перед вводом системы в эксплуатацию подготавливается документ результатов испытания системы, данные тестов по сертификации, которые являются основанием для выдачи гарантии на систему.

Изменения к техническому заданию и рабочей документации оформляются дополнением или подписанным ЗАКАЗЧИКОМ и ПОДРЯДЧИКОМ протоколом. Дополнение или указанный протокол являются неотъемлемой частью технического задания и рабочей документации.

### **1.2. Возможные ошибки при разработке проекта системы.**

Транспортная среда на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) предназначена для объединения всех компонентов системы в единую информационную инфраструктуру. Помимо технических средств к ней могут подключаться также компьютерные сети и другие инженерные системы объектов.

Проектирование современной транспортной среды должно удовлетворять определенному набору требований:

- масштабируемость - подразумевает возможность наращивания пропускной способности ВОЛС и количества подключений объектов, модулей, периферийных устройств без внесения существенных изменений в логическую структуру системы и с наименьшими затратами на дополнительное оборудование;
- мультисервисность - означает, что создаваемая транспортная среда должна иметь полный набор возможностей передачи видео - и аудио информации, а также поддержку всех применяемых протоколов передачи RS-данных и Ethernet-трафика;
- отказоустойчивость ВОЛС должна обеспечиваться за счет резервирования основных узлов и блоков активного оборудования, создания резервных каналов связи и применения современных средств управления потоками данных;
- перспективность созданной ВОЛС в будущем должна обеспечиваться за счет наращивания ее пропускной способности оптическими методами;
- преемственность обеспечивает предоставление дополнительных возможностей без существенных изменений в составе имеющегося активного оборудования и кабельной инфраструктуры.

Рынок поставщиков оборудования ВОЛС и решений на их основе в России находится на стадии интенсивного роста. Среди его фигурантов — и недавно появившиеся, и уже известные компании.

Заказчику порой бывает трудно разобраться во всем многообразии предлагаемых систем, а оценить качество установленных компонент становится просто нереально.

Это неизбежно приводит к ошибкам — как тривиальным, так и фундаментальным. На тривиальных ошибках (например, некорректный расчет оптического бюджета) можно не останавливаться. Гораздо важнее обратить внимание на ошибки фундаментальные, которые возникают при проектировании, даже, казалось бы, в самых обычных вариантах решения системы.

### **Ошибка первая.**

Разработка ВОЛС начинается без учета генеральной схемы развития системы, сети связи региона, объекта и пр. или эта схема выполнена непрофессионально, без учета перспектив и тенденций развития рынка информационных технологий. Причиной этой ошибки является недооценка роли и значения перспективного планирования развития структуры связи.

ВОЛС должна пережить несколько поколений активного оборудования, аппаратуры мониторинга и средств доступа. Расчет требуемой пропускной способности ВОЛС должен базироваться с учетом закона Мура, согласно которому каждые полтора года происходит удвоение

числа транзисторов в микропроцессоре и, соответственно, передаваемого количества информации.

#### **Ошибка вторая.**

Необоснованный выбор типа оптического волокна для оптического кабеля (ОК). Проектные организации не уделяют особого внимания выбору типа оптического волокна и выбору его производителя. Для проектировщика важно, чтобы световод обеспечивал требуемую пропускную способность с учетом прогнозируемых модернизаций в течение срока службы оптического кабеля. Для заказчика определяющими часто являются соображения экономического плана.

Необходимо подчеркнуть, что предпочтительным является построение всей транспортной среды на волокнах одной фирмы-изготовителя. В настоящее время параметры одного и того же типа волокон для разных изготовителей имеют очень близкие значения, надежность волокон у разных фирм примерно одинаковая.

#### **Ошибка третья.**

Консервативный выбор активных компонентов ВОЛС. Причина, — неоптимальный выбор технических средств передачи информации в ВОЛС, — объясняется не полным исследованием рынка аппаратуры и попытками выбора более дешевой, но менее функциональной.

Самое распространенное поведение инсталлятора в условиях жесткого конкурса заключается в том, что он соглашается удовлетворить все требования заказчика, а после победы в конкурсе на стадии подписания контракта или в процессе поставок отыгрывает назад заведомо невыполнимые или трудновыполнимые требования, прикрываясь различными причинами.

#### **Ошибка четвертая.**

Неправильный выбор подрядчика при создании ВОЛС. Чаще всего заказчик выбирает подрядчика, исходя только из экономических соображений. Создание ВОЛС — сложный, высокотехнологичный процесс, при котором важно, чтобы подрядчик был надежным и квалифицированным - ошибки и плохое качество монтажа оборачиваются большими эксплуатационными затратами. Главное в выборе подрядчика — высокий профессионализм, позволяющий обеспечить гарантированное качество монтажа активных и пассивных компонентов.

#### **Ошибка пятая.**

Неправильная приемка технических средств или ее отсутствие. Приемка должна быть сплошной и проводиться по всем важнейшим техническим параметрам. В первую очередь, это касается оптических кабелей и аппаратуры линейного тракта. Не менее важен входной контроль приемопередающего оборудования.

#### **Ошибка шестая**

Неправильно организованный технический надзор за проектированием и строительством. Очень часто технический надзор за проектированием и монтажом проводится без системно или не проводится вовсе. Причиной



этого является отсутствие или слабость у многих заказчиков и конечных пользователей эксплуатационных служб, а также недостаток соответствующей нормативно-технической документации.

Целью технического надзора за созданием ВОЛС является проверка соблюдения подрядчиком всех технологических нормативов и принятых проектных решений. Технический надзор должен сопровождать все этапы проектирования и монтажа ВОЛС.

Обязательным условием проведения технического надзора является наличие норм на проверяемые параметры ВОЛС, наличие методик и правил проверок этих норм.

#### **Ошибка седьмая**

Неправильная организация обучения специалистов. Некоторые заказчики не придают особого значения квалификации специалистов проектно-монтажных организаций, предполагая выставление штрафных санкций за ошибки при проведении работ. Однако многие ошибки при создании ВОЛС носят скрытый характер и их последствия проявляются не сразу.

Создание и эксплуатация ВОЛС требуют подготовки специалистов соответствующего уровня, поэтому экономить на обучении специалистов нельзя.

### **1.3. Некоторые примеры реализации разделов технического задания.**

#### **Обобщенная структура организации связи.**

В структуре сети связи района должна быть отражена перспектива развития, а именно обеспечение всеми услугами мульти сервисных сетей - **Triple Play**. Характеристика микрорайона по следующим критериям:

- ориентировочное количество домов в микрорайоне;
- ориентировочное количество абонентов в микрорайоне;
- оценка потребностей в услугах связи – телефония, передача данных (интернет), каналы ТВ, сети по стандарту Ethernet или FastEthernet.

#### **Оценка пропускной способности участка сети широкополосного доступа.**

Это достаточно сложная задача, так как предполагает учет всех или основных факторов, влияющих на состояние и развитие сети связи района. Для ее надежной оценки должен быть выполнен многофакторный анализ структуры связи, однако в инженерных расчетах очень часто довольствуются приближенной оценкой этого параметра, учитывая только основные моменты формирования структуры связи.

Предлагается учитывать схему распределения цифровых потоков по абонентам, составленную на основании сведений по численности населения и наличие предприятий и организаций.

Название микрорайона.....  
Количество домов.....  
Количество абонентов по каждому дому.....  
.....  
Технология построения сети.....

**Объекты** (дома, организации и пр. в заданном микрорайоне) – перечисляются типы объектов и их количество, например, жилые дома 12 этажей – 2, детский сад – 1, школа здание 5 этажей – 1, и т.д., по каждому объекту определяется количество абонентов:

$N_{01} = \dots\dots\dots \text{аб.};$

$N_{02} = \dots\dots\dots \text{аб.}$  И т.д.

**Скорость обмена в сети**, которая должна быть предоставлена одному абоненту для получения услуг Triple play, может быть определена из следующих соображений.

Техническое обеспечения заданного QoS (оценка качества обслуживания) – это в первую очередь реализация необходимой полосы пропускания сети абонентского доступа.

Безусловно, наибольшую лепту в загрузку полосы пропускания внесет видеотрафик. С известной долей приближения можно считать, что сегодня один канал телевизионной трансляции или VoD требует скорости передачи порядка 8 Мбит/с. Ситуация заметно улучшится, когда перейдем на стандарт MPEG-4, но в любом случае для получения качественного изображения для видеотракта нужно будет резервировать порядка 8 Мбит/с на один цифровой канал. Для передачи сигналов HDTV скорость в канале должна быть увеличена как минимум до 12 Мбит/с.

Другим ресурсоемким приложением с точки зрения пропускной способности абонентского канала является игровой сервис. Для полноценного погружения в сетевые игры, особенно в ролевые, необходима скорость не менее 4 Мбит/с. Остальные приложения не столь «прожорливы»: для телефонной связи хватит 64 кбит/с, качественное радиовещание обеспечивается 128 кбит/с, для «серфинга» в Интернете вполне достаточно 10 – 15 Мбит/с (хотя можно иметь скорость и больше, меньше 25 Мбит/с сейчас не предоставляют).

Получаем, что минимальная скорость, предоставляемая одному абоненту должна определяться суперпозицией скоростей по каждой из предоставляемых услуг.

Таким образом, оценка скорости, предоставляемой каждому абоненту в сети, может быть определена по выражению:

$$V_{\Sigma \text{аб}} = (N_{\text{аб}} \times 0,064) \times Y_{\text{тлф}} + V_{\Sigma \text{инт}} \times Y_{\text{инт}} + V_{\Sigma \text{тв}} + V_{\text{Eth}} \quad (1.1.)$$

где:

$N_{\text{аб}}$  – число ТЛФ каналов, предоставляемых абоненту (1 – 3, для организаций до 10);

$Y_{\text{тлф}}$  – удельная нагрузка, т.е. средняя нагрузка, создаваемая одним абонентом,  $Y_{\text{тлф}} = 0,01 – 0,05$  Эрл;

$V_{\Sigma \text{инт}}$  – скорость доступа абонента в интернет 10 – 50 Мбит/с (чем больше, тем дороже);

$Y_{\text{инт}}$  – удельная нагрузка, т.е. средняя нагрузка, создаваемая одним абонентом на канал доступа интернет,  $Y_{\text{инт}} = 0,05 – 0,2$ , учитывает возможное количество абонентов выходящих одновременно в интернет и время пользования;

$V_{\Sigma TV}$  – суммарная скорость для предоставления услуг ТВ вещания, можно определить из следующих соображений;

- все абоненты пользуются ТВ приемниками одновременно;
- количество ТВ приемников у абонента – макс 3;
- количество одновременно включенных каналов – 2 TV, 1 HDTV;

Таким образом, в приведенном варианте суммарная скорость необходимая для просмотра ТВ программ у одного абонента буде равна:

$$V_{\Sigma m\theta} = (2 \times 8 + 1 \times 12) = 28 \text{ Мбит/с}$$

$V_{Eth}$  – доступ к локальным ресурсам, интерактивные игры и пр., суммарную потребность в скоростях на одного абонента можно оценить в пределах 2 – 5 Мбит/с.

В результате, к примеру, в сегменте сети на 500 абонентов суммарная скорость обмена в сети составит:

$$V_{\Sigma ab} = (2 \times 0,064) \times 0,03 + 20 \times 0,1 + 28 + 3 = 0,00384 + 2 + 28 + 3 \approx 34 \text{ Мбит/с}$$

$$V_{\Sigma \text{сет}} = 34 \times 500 = 17000 \text{ (Мбит/с)}$$

Таким образом, для предоставления основных услуг абоненту сети пропускная способность абонентского канала должна быть не менее 34 Мбит/с. В зависимости от требований абонентов эта скорость в проекте может быть увеличена, что приведет к увеличению суммарной скорости обмена в сети.

Необходимо отметить, что суммарная скорость будет распределяться по магистральным участкам сети в зависимости от технологии построения сети, количества и потребностей абонентов, обслуживаемых этим участком.

**Топологии сетей доступа.** Подобные сети, нередко обозначаемые как оптические сети доступа, классифицируются относительно местоположения пассивного оптического оконечного устройства коммутации в структурной схеме ШПД (Рис.1.1.)

#### **1.4. Технология FTTC.**

Технология широко применяется для построения сетей кабельного ТВ вещания и представляет из себя гибридную опто-коаксиальную сеть (HFC).

Сеть HFC – иерархическая сетевая конструкция. В состав каждого головного узла входят пары волоконно-оптических приемников-передатчиков, подключенных волоконно-оптическим кабелем к удаленному оптическому узлу. В оптическом узле полученные нисходящие оптические сигналы преобразуются в электрические, а затем направляются в подключенный к узлу коаксиальный кабель. Аналогично, когда оптический узел получает через коаксиальный кабель восходящие электрические сигналы, он преобразовывает их в оптические, а затем направляет в подсоединенный волоконно-оптический кабель.

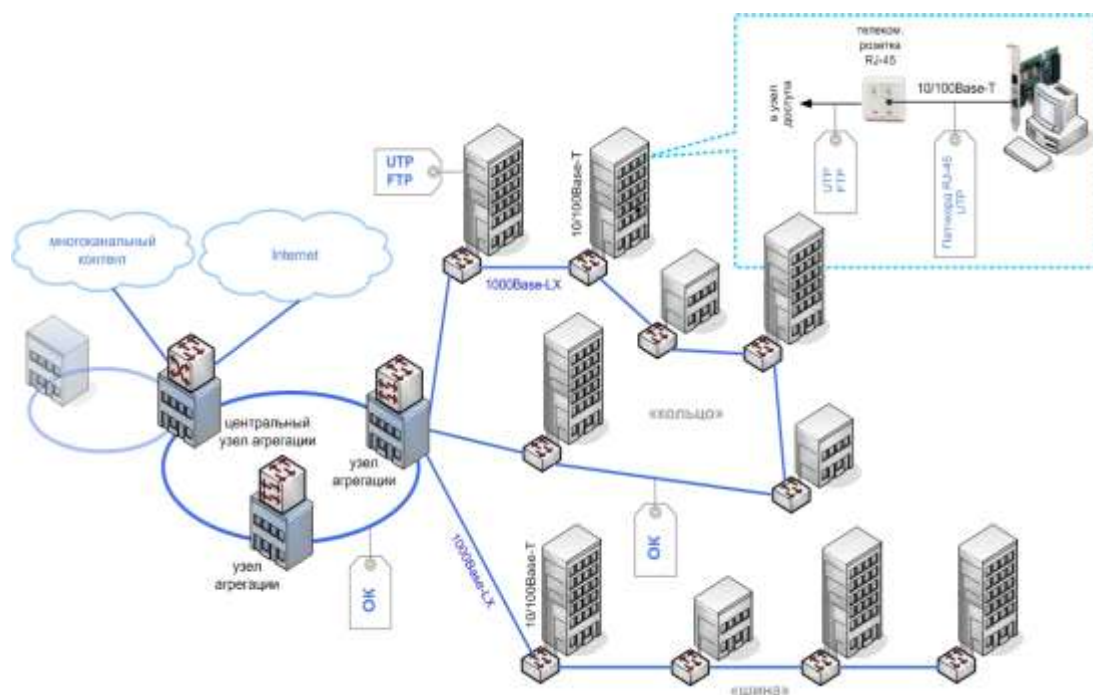


Рис.1.1. Обобщенная структура ОСД.

Типовая структура сети по технологиям FTTC, FTTB представлена на рис.1.2.



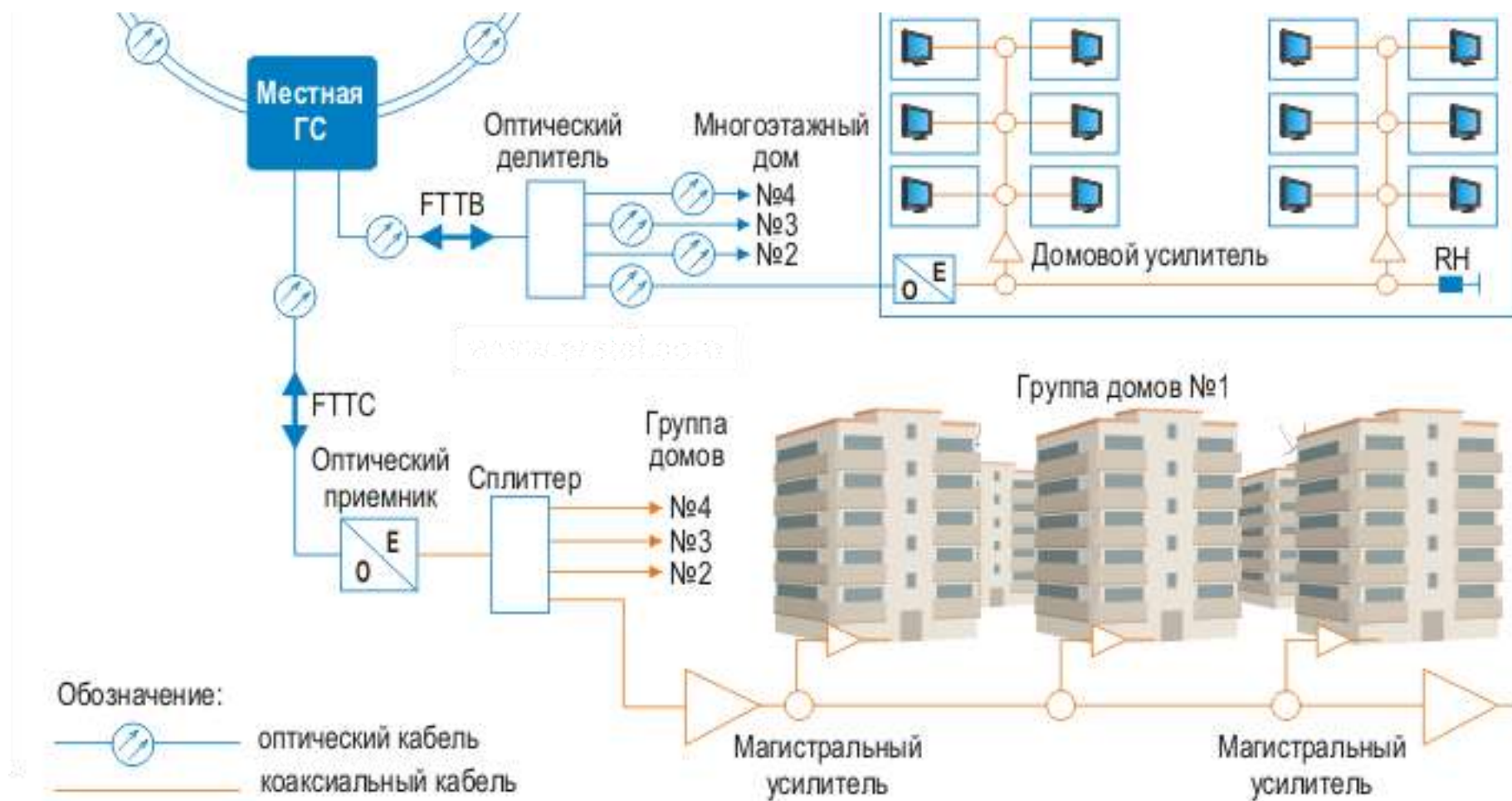


Рис.1.2. Топология сети FTTC, FTTB.

### **1.5. Технология FTTB.**

Архитектура FTTB получила наибольшее распространение, так как при строительстве сетей FTTx на базе Ethernet (ETTx) часто это единственная технически возможная схема. Кроме этого, в структуре затрат на создание сети ETTx разница между вариантами FTTC и FTTB относительно небольшая, при этом операционные расходы при эксплуатации сети FTTB ниже, а пропускная способность выше. Архитектура FTTB доминирует во вновь возводимых домах и у крупных операторов связи, тогда как FTTH будет востребована только в новом малоэтажном строительстве. В первую очередь это связано с существенно более высокой стоимостью ее реализации по сравнению со стоимостью сети FTTC/FTTB, отсутствием преимуществ в полосе пропускания для пользователя.

Под технологией FTTB понимают относительно глубокое проникновение оптики до абонента, т.е. работу оптического узла (ОУ) в среднем на 100...250 абонентов (например, 9...12-ти этажный дом на 4...6 подъездов). При этом после ОУ каскадно включается обычно не более одного коаксиального усилителя (см. рис.1.2).

Топология данной сети во многом повторяет гибридную волоконно-коаксиальную сеть и также состоит из узла передачи данных, магистральной волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) и распределительной сети. Отличие FTTB состоит лишь в замене оптических узлов ГВКС на «узлы второго уровня» (усилительные пункты) и кабеля распределительных сетей с коаксиального кабеля на оптический. Головная станция и домовая распределительная сеть не требуют изменения при модернизации, а для магистрали может потребоваться лишь увеличение числа оптических волокон. Исходя из вышесказанного, в сетях FTTB возрастает количество прокладываемого оптоволокна и устанавливаемых оптических приемников.

### **1.6. Технология FTTH.**

FTTH - (англ. Fiber to the Home- оптическое волокно до квартиры). Учитывая, что российские абоненты проживают в основном в многоквартирных домах, FTTH означает, в отличие от FTTB, доведение оптического волокна до квартиры абонента.

Существует два типа организации FTTH сетей: на базе Ethernet и на базе PON.

Архитектуры на базе Ethernet (рис.1.3).

Необходимость быстрого вывода на рынок и снижения стоимости для абонентов привели к появлению сетевой архитектуры на базе Ethernet-коммутации. Передача данных по сети Ethernet и Ethernet-коммутация стали приносить доход на рынке корпоративных сетей и привели к снижению цен, появлению законченных продуктов и ускорению освоения новых продуктов. 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 GigabitEthernet. Эта 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

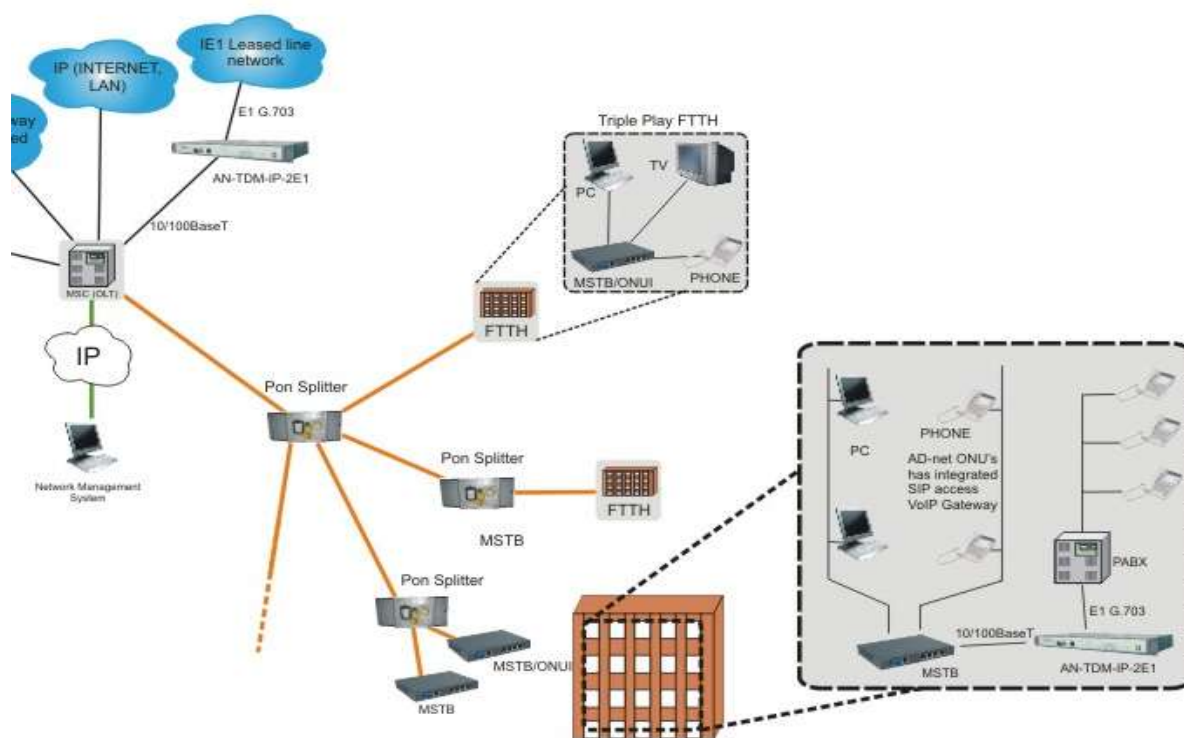


Рис.1.3. Структура построения сети FTTH.

кольца доступа (1 Гбит/с), что давало в перспективе сравнительно небольшую пропускную способность, а также вызывало трудности масштабирования архитектуры.

Затем широкое распространение получила архитектура Ethernet типа «звезда». Такая архитектура предполагает наличие выделенных оптоволоконных линий (обычно одномодовых, одноволоконных линий с передачей данных Ethernet по технологии 100BX или 1000BX) от каждого конечного устройства к точке присутствия (pointofpresence, POP), где происходит их подключение к коммутатору. Оконечные устройства могут находиться в отдельных жилых домах, квартирах или многоквартирных домах, на цокольных этажах которых располагаются коммутаторы, доводящие линии по всем квартирам с помощью соответствующей технологии передачи.



### **1.7. Технология PON.**

Упрощенная структура сети PON представлена на рис.3.3. Оптическая мощность с выхода OLT в узлах сети делится (равномерно или неравномерно) таким образом, чтобы уровень сигнала на входе всех ONT/ONU был примерно одинаков. В случае, когда одна из длин волн (чаще всего 1550 нм) выделяется всем абонентам для передачи телевизионного сигнала, на АТС устанавливается оптический мультиплексор WDM для объединения передаваемых сигналов на длинах волн 1490 нм (голос, данные) и 1550 нм (видео). В обратном направлении сигнал (голос, данные) передается на длине волны 1310 нм.

Таким образом, основная идея технологии PON – использование всего одного приемопередающего модуля в OLT для передачи информации множеству абонентских устройств ONU/ONT и приема информации от них.

Число абонентских узлов, подключенных к одному приемопередающему модулю OLT («дереву» PON), может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры. Для передачи потока информации от OLT к ONU/ONT – прямого (нисходящего) потока используется длина волны 1490 нм. Потоки данных от абонентских узлов в центральный узел, совместно образующие обратный (восходящий) поток, передаются на длине волны 1310 нм. Прямой поток на уровне оптических сигналов является широковестьательным (Broadcasting). Каждый ONU/ONT, читая адресные поля, выделяет из этого общего потока предназначенную только ему часть информации.

С точки зрения масштабируемости по полосе пропускания данный подход уже подразумевает достаточно высокую полосу пропускания для абонентского терминала ONU/ONT (до 40 Мб/с индивидуальной полосы при установке до 64 ONU/ONT на «дереву» PON), но при увеличении запроса на полосу со стороны ресурсоемких услуг возможно распределение меньшего количества ONU/ONT на один приемопередающий порт OLT, позволяющее выделить большую полосу для каждого терминала. С точки зрения масштабируемости по услугам достаточно заменить домашний шлюз доступа, если уже установленный не удовлетворяет вновь возникающим запросам. Инфраструктурная часть – ONU/ONT и оптическое волокно – остается неизменной.

Для реализации данного решения в точке присутствия (оператора, предоставляющего услуги связи) устанавливается оборудование OLT, которое терминирует интерфейсы PON и обеспечивает распределение пользовательского трафика по услугам с помощью пассивных оптических разделителей – сплиттеров до ONU/ONT. К одному порту OLT возможно подключение до 64/128 абонентов.

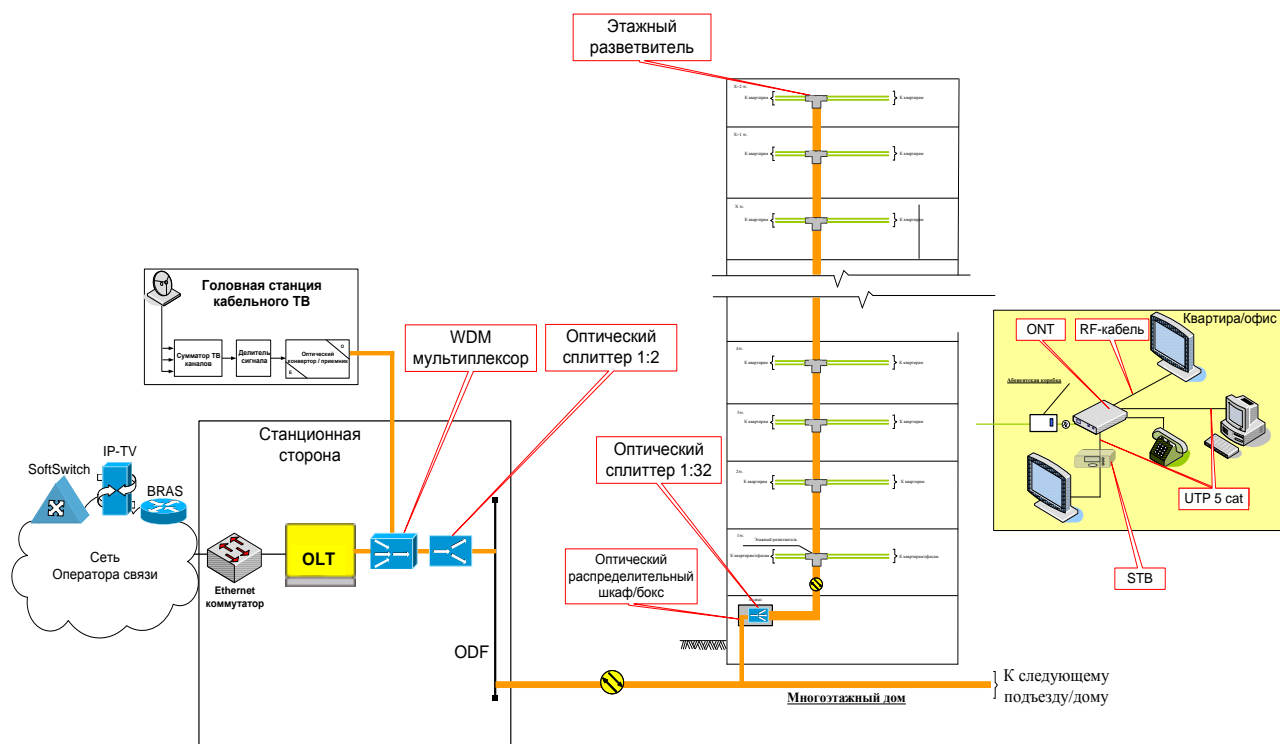


Рис.1.4. Упрощенная структура PON.

В таблице 1.1 приведены основные характеристики существующих стандартов PON.

Табл.1.1. Основные характеристики сетей PON

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON
Институты стандартизации / альянсы	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA	ITU-T SG15 / FSAN
Дата принятия стандарта	октябрь 1998	июль 2004	октябрь 2003
Стандарт	ITU-T G.983.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Скорость передачи, прямой/обратный поток, Мбит/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155,622,1244 2488/622,1244, 2488
Базовый протокол	ATM	Ethernet	SDH
Линейный код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальный радиус сети, км	20	20 (>30)	20
Максимальное число абонентских узлов на одно волокно	32	32 (64)	64 (128)
Приложения	Любые	IP, данные	Любые
Коррекция ошибок FEC	предусмотрена	нет	необходима
Длины волн прямого/обратного потоков, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/1310)	1550/1310 (1480/1310)
Динамическое распределение полосы	есть	Поддержка	есть
IP-фрагментация	есть	нет	есть
Защита данных	Шифрование открытыми ключами	нет	Шифрование открытыми ключами

Резервирование	есть	нет	есть
Оценка поддержки голосовых приложений и QoS	высокая	низкая	высокая

### **Способ строительства и конструкция ВОК.**

Основной затратной статьёй является строительство ВОЛС и здесь надо, по возможности, объективно подойти к выбору способа строительства.

Прежде всего, это анализ существующих возможностей реализации строительства – средства, наличие машин и механизмов, вопросы закупки кабельных компонентов и оборудования и пр.

Правильный выбор способа строительства во многом определит эффективность реализации проекта и существенно зависит от конкретных условий.

Особое внимание заслуживает анализ возможности применения на внутризоновых сетях воздушных способов строительства ВОЛС, как наиболее дешевых и не требующих использования мощных машин и механизмов.

### **Выбор аппаратуры связи.**

Выбор оборудования для реализации созданной схемы организации связи очень важный момент в создании сети связи региона. Здесь нужно учитывать несколько основных положений:

- необходимо выбирать аппаратуру соответствующую последним техническим решения в данном разделе;
- учитывать тот факт, что любая техника, в том числе и техника связи, очень быстро дешевеют, поэтому необходимо уже на стадии проектирования рассматривать возможность замены аппаратуры на более функциональную;
- создавать и развивать систему диагностики и мониторинга, что позволит снизить эксплуатационные расходы на обслуживание системы в целом;
- технические решения аппаратных средств должны быть выстроены на единой платформе, реализованной в данном регионе, что обеспечит широкую взаимозаменяемость оборудования.

К примеру, для схемы организации связи рис.1.1 можно рассмотреть вопрос использования мультиплексоров серии FoMUX (рис.1.3.).

Это серия мультиплексоров, предназначенных для прозрачной передачи цифровых каналов с различными интерфейсами по двум или одному оптическим волокнам. Мультиплексоры обеспечивают



Рис.1.3. Внешний вид мультиплексора FoMUX.

простое и экономичное решение для одновременной передачи 4-х (FoMUX-4LE) или 8-и (FoMUX-8LE) каналов E1, Ethernet 10/100 Mb/s и асинхронного канала с интерфейсом RS-232C. Порт Ethernet 10/100BaseTX обеспечивает автоопределение скорости и полно- и полудуплексного режима (full/half duplex). Порты E1 с интерфейсом G.703 (Balanced) поддерживают режимы прозрачной передачи структурированного и неструктурированного потока данных 2.048 Мб/с. Каналы E1 передаются независимо друг от друга. Данные асинхронного порта передаются со скоростью до 115,2 Кб/с. Конфигурация устройства осуществляется с помощью DIP-переключателей. Мультиплексор выполнен в малогабаритном корпусе для настольного применения. Возможна установка в 19" стойку при помощи специального крепления. Устройство поставляется с универсальным источником питания для переменного 220 VAC и постоянного 60 VDC тока.

Правильно составленное техническое задание обеспечит не только существующие потребности в информационных потоках, но и развитие связей региона с минимальными затратами.

Раздел РПД 2. Технологии строительства участков сети - магистральных, субмагистральных (распределительных), домовых распределительных сетей

### **1. Разработка структуры построения магистральных участков сети.**

Предусматривается организация сети по технологии FTTB от узла агрегации к проектируемым жилым домам, строительство которых предполагается по ул. Ларина. Вид района в данный момент представлен на рис.1.1.

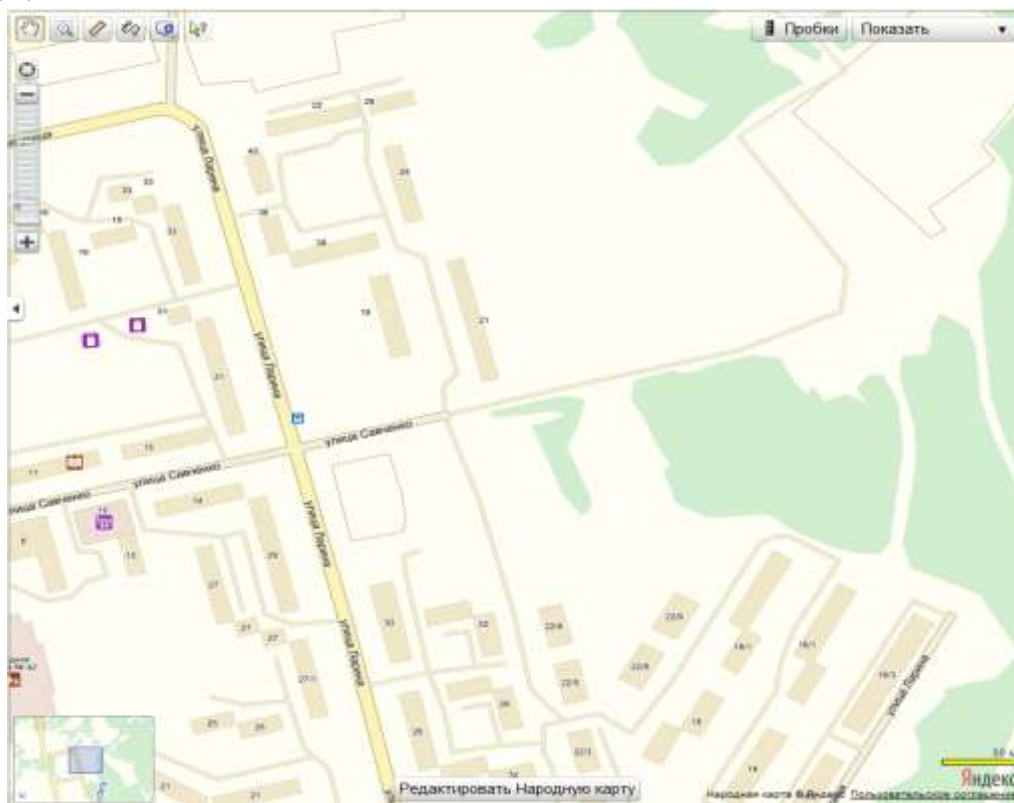


Рис 1.1. г. Петропавловск-Камчатский, Северный район.

Жилая застройка района Северный представлена практически полностью крупно-панельным строительством на базе блок-секций серии 138, типовые проекты которых были разработаны ЦНИИЭП жилища при Госстрое СССР (г. Москва) с учетом сейсмичности до 9 баллов. Привязка типовых проектов к местным условиям конкретного строительства производилась проектным институтом «Камчатскгражданпроект».

Здания в основном 5-ти этажные, представлены как отдельными типовыми 1-2 подъездными блок-секциями, так и их компоновкой в жилые дома с числом подъездов 3 и более. Оборудование узлов доступа (УД) (см. табл.1.1) размещается в настенном шкафу, располагаемом на свободных площадях либо отдельных выделенных помещений в т.ч. электрощитовых.

Загрузка существующих слаботочных стояков в домах достигает 90%, проходимость каналов ограничена, их использование для целей строительства не предоставляется возможным. Проектом предусматривается

организация новых межэтажных кабельных стояков в каждом подъезде от первого до последнего этажа.

Таблица 1.1. Размещение оборудования узлов доступа

№№	Адрес размещения	
	улица	номер дома по строительному плану застройки
1	Ларина	4.1-
2		1 (12
3		2 (12
4		9
5		8
6		12
7		3 (12
8		7
9		4
10		5
11		1
12		2
13		3
14		11
15		10
16		13
17		6

Магистральный участок сети является одним из основных элементов всей оптической сети. От узла агрегации (УА) до узлов доступа (УД), объединенных в оптические кольца доступа (КД), производится магистральное распределение ОВ. Было принято решение разделить магистральную сеть на 3 КД. В качестве примера схема прокладки магистрального кабеля показана на рис. 1.2. – оптическое кольцо КД-24



## **2. Некоторые рекомендации по выбору оборудования (пример).**

### **2.1. Оборудование уровня агрегации.**

Расширение существующего узла агрегации ОАО «Ростелеком» осуществляется путем установки в существующий телекоммуникационный шкаф в приспособленном помещении по адресу: г.Петропавловск-Камчатский, ул.Вольского, д.4/2 оборудования коммутации и маршрутизации пакетов информации типа QuidwayS5328C-E1-24S (версия ПО VRP 5.30) производства HuaweiTechnologiesCo. общей монтированной емкостью 24 портов Gigabit Ethernet и 2 порта 10 Gigabit Ethernet.



Рис.2.1.Оборудование QuidwayS5328C-E1.

HuaweiTechnologies - мировой лидер в области решений для сетей связи следующего поколения по поставкам телекоммуникационных сетей нового поколения, и в настоящий момент обслуживает 45 из 50 ведущих мировых операторов.

#### **Эффективная поддержка услуг.**

Устройства серии S5300 поддерживают расширенную функцию выборочного QinQ. Устройства S5300 поддерживают слежение IGMP, IGMPv3, фильтрацию IGMP, быстрый выход IGMP и IGMP - прокси. Устройства S5300 реализуют функцию MCE.

#### **Высокая надежность.**

Кроме традиционных протоколов STP, RSTP и MSTP, устройства S5300 поддерживают новейшие технологии Ethernet, включая SmartLink и RRPP, выполняют защитное переключение каналов с длительностью в нескольких миллисекунд. Устройства S5300 поддерживают функцию BFD и распознавание протоколов OSPF, IS-IS, VRRP и PIM в течение нескольких миллисекунд, что повышает надежность сети.

Устройства S5300 поддерживают два источника электропитания в режиме резервирования, переменного и постоянного тока, которые могут работать одновременно.

Устройства S5300 работают с протоколом VRRP и могут образовывать группу резервирования VRRP с другими коммутаторами 3 уровня.

#### **Эффективная политика QoS и механизм обеспечения безопасности**

Устройства S5300 могут осуществлять комплексную классификацию трафика на основе различных данных, включая IP-приоритет, ToS, DSCP, тип IP-протокола, тип протокола ICMP, интерфейс источника TCP, VLAN ID, тип протокола кадра Ethernet и CoS. Устройства S5300 поддерживают двухскоростную функцию CAR с трёхцветной индикацией на основе двух потоков. Каждый интерфейс поддерживает 8 очередей с различным приоритетом и множество алгоритмов диспетчеризации, включая WRR, DRR, SP, WRR+SP и DRR+SP, которые в значительной степени



обеспечивают качество представления услуг сети, включая голосовых услуги, видео услуги и услуги по передаче данных.

Устройства серии S5300 поддерживают различные функции защиты пользовательских данных. Устройства S5300 отслеживают данные о MAC и IP-адресах пользователей, данные аренды, VLAN ID, данные об интерфейсах путём создания и поддержания сводной таблицы DHCP-слежения. Устройства S5300 поддерживают строгое распознавание данных ARP. Это позволяет защитить данные ARP устройств S5300 от полного занятия, которое происходит при выполнении атаки с поддельными пакетами ARP. В результате обеспечивается доступ к сети Интернет для обычных пользователей. Устройства S5300 поддерживают проверку источника и защиту от атак DoS с использованием поддельных MAC-адресов и IP-адресов.

Устройства S5300 осуществляют централизованную аутентификацию MAC-адресов, аутентификацию 802.1X и функции NAC.

Устройства S5300 поддерживают установление лимита распознавания источников MAC-адресов на выбранном интерфейсе.

#### **Простота развертывания и отсутствие техобслуживания**

Устройства S5300 отличаются простотой использования и развёртывания. Они поддерживают автоматическое конфигурирование, функцию plug-and-play, автоматическое, групповое и удалённое обновление, что позволяет значительно снизить затраты на техобслуживание.

#### **Богатые возможности IPv6**

Устройства S5300 поддерживают двойной стек IPv4/IPv6, туннели IPv6 поверх IPv4 (включая туннели, конфигурируемые вручную, туннели 6to4 и туннели ISATAP), а также переадресацию третьего уровня на скорости линии. Устройства S5300 поддерживают широкий набор протоколов маршрутизации IPv6, включая RIPng и OSPFv3.

#### **PoE**

Коммутаторы серии S5300-PWR поддерживают технологию PoE путём использования источников электропитания различной мощности.

#### **Отличная расширяемость**

Устройства S5300 поддерживают функцию интеллектуального объединения устройств в группу и функцию plug-and-play. Достаточно соединить устройства при помощи кабелей и групповая система будет сконфигурирована автоматически.

Устройства S5300 поддерживают объединение в группу до 9 устройств, при этом максимальная пропускная способность стека составляет 48 Гбит/с.

Полная схема организации узла агрегации представлена на рисунке 2.2.





Рис.2.3.Шкаф телекоммуникационный антивандальный

### **Оптические кроссы.**

Оптический кросс (OpticalDistributionFrame, ODF, оптическое распределительное устройство) используется для распределения волоконно-оптических кабелей, подведенных на узел связи, с целью обеспечения удобного способа подключения активного телекоммуникационного оборудования и пассивных систем.

Оптический кросс должен обладать следующими возможностями:

- в ODF должен обеспечиваться свободный доступ к любому из оптических портов и возможность оперативного выполнения кроссировочных работ;
- при вводе в эксплуатацию возможность поэтапного наращивание кросса;
- организация коммутационного поля должна обеспечивать возможность оперативного производства монтажа, инсталляцию и коммутацию ОВ, минимизировать возможность их повреждений;
- система укладки ОВ и патч-кордов должна гарантировать соблюдение требований к геометрии изгиба ОВ;

В каждый телекоммуникационный шкаф типа MELSKM15 устанавливаем панели оптические распределительные типа ПОР-19 производства ООО Научно-технический центр «ПИК» (рис.2.4).



Рис.2.4. Оптический кросс ПОР-19.

Панели оптические распределительные стационарные (ПОР-С) предназначены для использования в волоконно-оптических системах

передачи данных для соединения оконцованныхмноговолоконных оптических кабелей с помощью оптических шнуров. Устанавливаются в19"конструктивы.

#### **Оборудование коммутации.**

Для перехода из магистральной сети в распределительную используется оборудование коммутации. В данном проекте используем оборудование коммутации пакетов информации типа Quidway S3328TP-SI производства Huawei Technologies Co. (рис.2.5) общей монтированной емкостью 984 порта Fast Ethernet. Оно имеет 24 интерфейса 10/100Base-TX, 2 интерфейса Combo 1000Base-X SFP и 2 интерфейса Combo (10/100/1000Base-T или 100/1000Base-X). Устройство S3328TP-SI/EI может работать как от источника переменного, так и постоянного тока.



Рис.2.5.Оборудование Quidway S3328TP-SI.

#### **Эффективная поддержка широкого набора услуг.**

Коммутаторы S3300 поддерживают расширенный выборочный механизм QinQ, который может работать без занятия ресурсов ACL. Устройства S3300 поддерживают преобразование значения CoSвнутренней VLAN в аналогичные значения внешней VLAN, а также изменение значения CoS внешней VLAN.

Коммутаторы S3300 поддерживают 1000 групп широковещания и набор протоколов, включая протоколы IGMP-слежения, протоколы фильтрации, алгоритм FastLeave и Proху. Устройства S3300 поддерживают функцию тиражирования многоадресных пакетов в VLAN с линейной скоростью, равномерное распределение многоадресной нагрузки среди агрегированных интерфейсов и управляемую многоадресную передачу, что позволяет предоставлять услуги IPTV и сервисы многоадресной передачи.

За счёт функции MCE (Множественное оборудование заказчика) устройство S3300 реализует изоляцию пользователей VLAN на базе одного устройства, обеспечивает безопасность и позволяет снизить затраты пользователей.

#### **Гибкая политика QoS и механизм безопасности.**

Коммутаторы S3300 могут осуществлять классификацию трафика на основе различных данных, включая IP- приоритет, тип IP-протокола, тип протокола ICMP, интерфейс источника TCP, VLAN, тип протокола кадра Ethernet и CoS. Коммутаторы серии S3300 поддерживают различные функции безопасности и защиты пользовательских данных.

Коммутаторы S3300 отслеживают данные о MAC и IP-адресах пользователей, данные аренды, VLAN ID, данные об интерфейсах путём создания и поддержания сводной таблицы DHCP-слежения. Подобным

образом решается проблема распределения IP-адресов и интерфейсов пользователя DHCP.

Коммутаторы S3300 поддерживают строгое распознавание данных ARP. Это позволяет защитить данные ARP устройств S3300 от полного занятия, которое происходит при выполнении атаки с поддельными ARP пакетами. В результате обеспечивается доступ к Интернет для обычных пользователей. Устройства S3300 поддерживают проверку источника и защиту от атак DoS при помощи поддельных MAC и IP-адресов.

Коммутаторы S3300 поддерживают централизованную аутентификацию MAC-адресов, аутентификацию 802.1X и функции NAC; поддерживается статическое и динамическое увязывание элементов идентификации пользователей, включая учётную запись, IP-адрес, MAC-адрес, VLAN ID, номер интерфейса и клиента в целях защиты от вирусов; реализуется динамическая пользовательская политика, включая политику VLAN, QoS и ACL.

Коммутаторы S3300 поддерживают лимит распознавания источника MAC-адресов на выбранном интерфейсе. Таким образом, устройства S3300 обеспечивают защиту пользователей от атак при помощи поддельных MAC-адресов, а также от лавинной маршрутизации, которая происходит, если пользователь не получает MAC-адрес из таблицы MAC-адресов.

### **Широкие возможности IPv6**

Устройства S3300 поддерживают двойной стек IPv4/IPv6, туннели IPv6 поверх IPv4 (включая туннели, конфигурируемые вручную, туннели 6to4 и туннели ISATAP), а также переадресацию третьего уровня на скорости линии. Устройства S3300 могут применяться в сетях IPv4, сетях IPv6 и комбинированных сетях IPv4 и IPv6. Гибкие режимы организации сети позволяют осуществлять переход от сети IPv4 к IPv6.

### **Возможности PoE**

Коммутаторы серии S3300-PWR поддерживают технологию PoE путём конфигурирования источников электропитания различной мощности. Это означает, что устройства S3300 могут обеспечивать устройства PD (энергозависимые устройства) электропитанием за счёт функции PoE. При этом напряжение -48 В DC предаётся по витой паре (например, IP-телефон и WLAN, AP, устройства безопасности и Bluetooth AP).

### **Широкие возможности расширения, высокая надёжность и эффективный механизм защиты**

Устройства S3300 поддерживают функцию интеллектуального объединения устройств в группу и функцию plug-and-play. Устройства S3300 поддерживают объединение в группу до 9 устройств, при этом максимальная пропускная способность стека составляет 10 Гбит/с.

### **Отсутствие необходимости в обслуживании и управлении**

Устройства S3300 не требуют техобслуживания и поддерживают функцию группового обновления устройств в групповом режиме. Кроме того, устройства S3300 поддерживают функции OAM Ethernet OAM (802.3ah

и 802.1ag), HGMPv2, SNMP, NTP, SSH V2.0, HWTACACS+, RMON, классификацию трафика по интерфейсам и анализ качества NQA сети.

### **Цифровые кроссы.**

Так как прокладка внутри зданий осуществляется 24-х парным кабелем, то для его соединения с коммутирующим оборудованием необходимо использовать цифровой кросс.

Цифровой кросс (Digital Distribution Frame – DDF) — коммутационное поле врезных контактов для электрического подключения и механического фиксации окончаний кабелей, кабельных элементов и проводников, обеспечивающее коммутацию преимущественно с помощью кроссирующих проводов и перемычек. Кроссы обеспечивают соединение многопарных кабелей с помощью плинтов. Плинты размещаются в шкафах/стойках или в настенных коробках — боксах. В проекте используем цифровые кроссы 110 типа серии СКС-Line производства ЗАО «НТЦ Энергия» (рис.2.6).



Рис.2.6. Цифровые кроссы 19" 110 типа на 1U и 2U с понижением функциональной плоскости и без.

Кроссы 110 типа 19" применяются для построения кроссовых узлов структурированных кабельных систем. Применение 19-ти дюймовых кроссов позволяет легко наращивать кросс по мере необходимости, обеспечивает простоту и удобство в его обслуживании.

### **5.3. Оборудование распределительной сети.**

В каждом подъезде жилого дома устанавливаем распределительные шкафы типа ШРН (рис.2.7).



Рис.2.7. Шкаф распределительный настенный ШРН-П.

Шкаф распределительный настенный – подъездный применяется в качестве распределительной коробки для витой медной пары при реализации проектов FTTB (FiberToTheBuilding).

#### Особенности конструкции.

Шкаф имеет:

- 2 отверстия Ø51мм на верхней и нижней стенках для установки резиновых втулок, обеспечивающих ввод кабеля в шкаф;
- 2 отверстия 16х25мм на боковых стенках для вывода абонентских линий;
- лепестки для установки 3-х плинтзов;
- крышка на шарнирах с замком-защелкой.

Шкафы изготавливаются из стали 1,2 мм, покрытой порошково - полимерной краской.

Сведем все описанное выше оборудование в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Размещение оборудования по ул.Ларина.

Адрес размещения УД		Кол-во УД	Кол-во портов FastEthe rnet	Количество устанавливаемого оборудования
улица	номер дома по строительному плану застройки квартала			
улица Ларина	4.1-4.3	1	96	Quidway S3328TP-SI – 4 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 4 шт.;
	1 (12 эт.)	1	96	Quidway S3328TP-SI – 4 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 4 шт.;
	2 (12 эт.)	1	96	Quidway S3328TP-SI – 4 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 4 шт.;
	9	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	8	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	12	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	3 (12 эт.)	1	96	Quidway S3328TP-SI – 4 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 4 шт.;
	7	1	72	Quidway S3328TP-SI – 3 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 3 шт.;
	4	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	5	1	24	Quidway S3328TP-SI – 1 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 1 шт.;
	1	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	2	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	3	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	11	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	10	1	48	Quidway S3328TP-SI – 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;



	13	1	48	Quidway S3328TP-SI– 2 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 2 шт.;
	6	1	24	Quidway S3328TP-SI– 1 шт.; ПОР-19; кросс 110 – 1 шт.;

### 3. Расчет бюджета магистральных участков сети.

#### 3.1. Расчет бюджета участка ВОЛС.

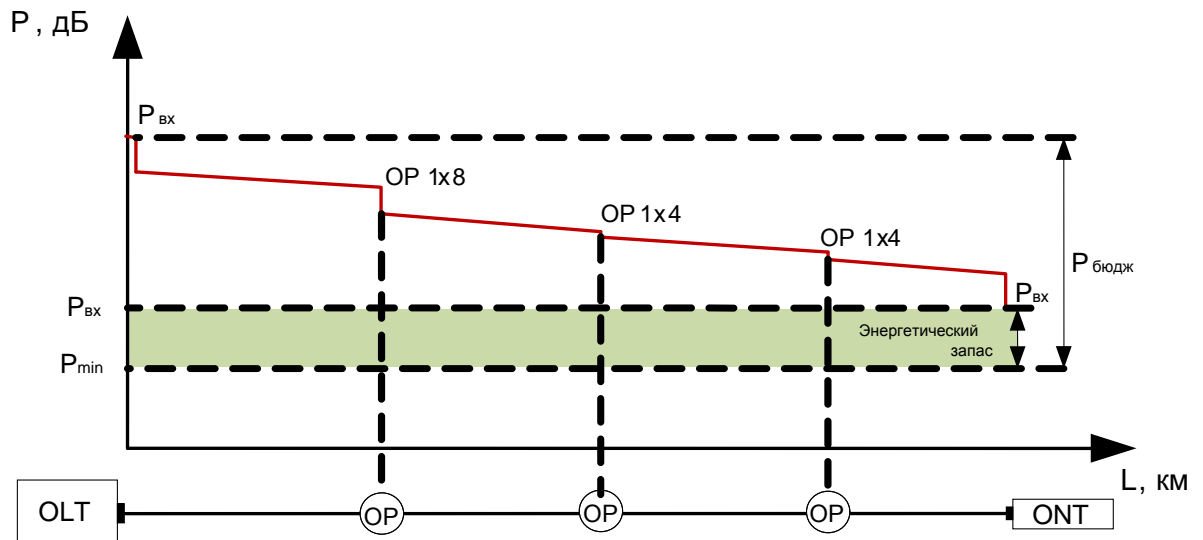


Рис.3.1. График бюджета потерь.

Для ветви сети все потери в линии равны сумме затуханий всех компонентов (3.1.):

$$A_{\Sigma} = \sum_1^n (L_1 + L_2 + \dots + L_i) \times \alpha + N_p \times \alpha_p + N_c \times \alpha_c + \alpha_{spi} + \alpha_{sptm} \quad (3.1.)$$

где  $A_{\Sigma}$  – суммарные потери в линии (между OLT и ONU), дБ;

$L$  – длина  $i$ -участка, км;

$n$  – количество участков;

$\alpha$  – коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км;

$N_p$  – количество разъёмных соединений;

$\alpha_p$  – средние потери в разъёмном соединении, дБ;

$N_c$  – количество сварных соединений;

$\alpha_c$  – средние потери в сварном соединении, дБ;

$\alpha_{spi}$  – потери в  $i$ -оптическом разветвителе, установленном на магистральном участке сети, дБ;

$\alpha_{sptm}$  – потери в  $m$ -оптическом разветвителе, установленном на распределительном участке сети дБ.

#### 3.2. Расчет потерь в участках на металлическом кабеле.

Расчет выполняется в два этапа, первый – расчет и распределение затуханий на участке магистральной сети (ФТТС), где в составе участка могут находиться как магистральные усилители, так и ответвители магистральные с трансляцией дистанционного питания на проход, отвод, или без него, что определяется конкретной структурой района, где проектируется сеть.



Второй этап – расчет и распределение затуханий в домовой распределительной сети. Сигнал с выхода домового усилителя, который установлен в каждом подъезде, должен быть распределен по этажам и абонентам таким образом, чтобы различие в уровнях ТВ сигналов у каждого абонента не превышало 5 дБ мкВ и лежал в пределах 65 – 70 дБ мкВ. Это должно быть обеспечено распределением по сети абонентских распределителей.

**Первый этап.** В самом общем случае, когда можно принять среднее значение уровня сигнала на входе магистрального усилителя 70 дБмкВ, после передачи сигнала от головной станции до первого усилителя с учетом всех потерь в магистральных ответвителях на прохождение и ответвление при среднем коэффициенте усиления в 39 дБ получим сигнал на выходе 109 дБмкВ, которого должно хватить для доставки к домовому усилителю.

В этом варианте выражение для расчета участка сети на коаксиальном кабеле примет следующий вид (3.2.):

$$A_{\Sigma} = \sum \alpha_{ki} L_{ki} + \sum_n^1 A_{пер} + \sum_m^1 A_{пр} + A_{спл} + A_{разв} + B_{маг.ус}, \quad (3.2.)$$

где,  $\alpha_{ki}$  – коэффициент затухания коаксиального кабеля на i-том участке магистральной сети;

$L_{ki}$  – протяженность i-го участка сети;

$A_{пер}$  – переходное затухание магистрального ответвителя на рассчитываемую ветвь сети;

$A_{пр}$  – проходное затухание магистрального ответвителя для последующих ветвей;

$A_{спл}$  – потери в сплиттере если такой необходимо установить;

$A_{разв}$  – дополнительные потери на разветвление при большом количестве магистральных ответвителей;

$B_{маг.ус.}$  – компенсация затухания на участке магистральной сети в магистральном усилителе (определяется потребностями и типом последнего).

Задача проектировщика по участку магистральной сети правильно распределить магистральные ответвители с точки зрения их положения по затуханию на ответвление и затуханию на проход, так как это определит эффективность работы всей сети.

В результате расчетов и выбора варианта распределения пассивного и активного оборудования, в том числе и типа кабеля, необходимо получить уровни сигналов на входе домовых усилителей в указанных выше пределах, причем различие в уровнях сигналов на входе каждого из домовых усилителей не должно превышать 5 дБ.

#### **4. Разработка структуры построения домовой распределительной сети (ДРС).**

Расчет и распределение затуханий в домовой распределительной сети на металлическом кабеле производится из следующих соображений.

Как уже говорилось сигнал на выходе абонентской розетки должен лежать в пределах 65 – 70 дБмкВ. Приняв во внимание, что сигнал на выходе

домового усилителя в среднем равен 120 дБмкВ, получаем, что мы имеем возможность распределить затухание по ветвям сети в районе 50 дБ.

Расчет может быть выполнен по следующему выражению:

$$A_{\Sigma} = (\sum \alpha_{ki} L_{ki} + \sum_n^1 A_{пер} + \sum_m^1 A_{пр} + A_{разв}) \cong (50 \pm 2,5) \text{ дБ} , \quad (4.1.)$$

где  $\alpha_{ki}$  – коэффициент затухания коаксиального (симметричного) кабеля на верхней частоте транслируемого диапазона и на i-том участке домовой сети;

$L_{ki}$  – протяженность i-го участка сети;

$A_{пер}$  – переходное затухание абонентского разветвителя на рассчитываемую ветвь сети;

$A_{пр}$  – проходное затухание абонентского разветвителя для последующих ветвей;

$A_{разв}$  – дополнительные потери на разветвление при большом количестве абонентских разветвителей.

Пример построения ДРС приведен на рис.4.1.

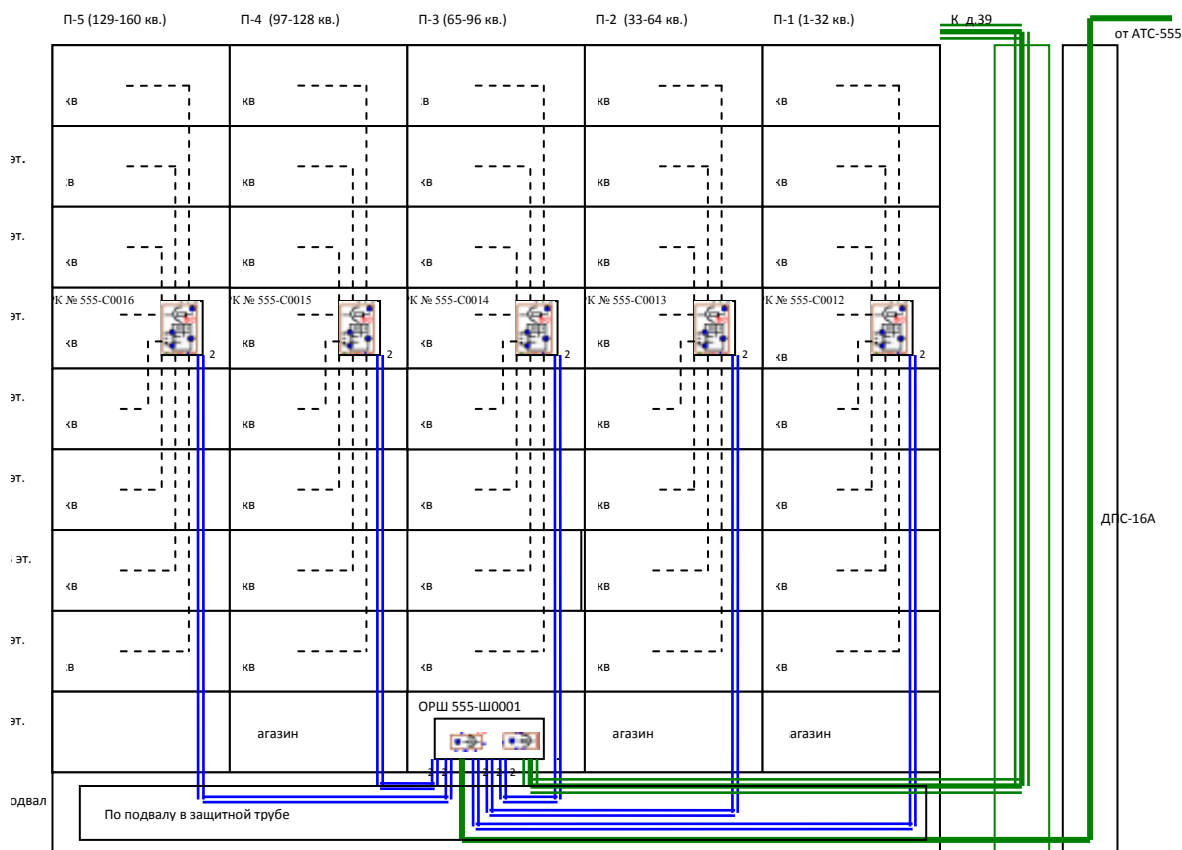


Рис. 4.1. Структура домовой распределительной

При проектировании ДРС на основе волоконно-оптического кабеля эти факторы не учитываются т.к. потери в ОВ на расстояниях в несколько сот метров совершенно незначительны и не могут никаким образом влиять на параметры передачи сигналов в сети.

## 5. Выбор, обоснование и расчет параметров кабельной системы.

Кабельные линии представляют собой достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также,

возможно, климатической. Кроме того, кабель может быть оснащен разъемами, позволяющими быстро выполнить присоединение к нему различного оборудования. Промышленностью выпускается огромное количество типов кабелей. В основном применяются три основных типа кабеля: кабели на основе скрученных пар медных проводов, коаксиальные кабели с медной жилой, а также волоконно-оптические.

При выборе кабеля необходимо принять во внимание следующие характеристики: скорость передачи данных, расстояние, физическая защищенность, электромагнитная помехозащищенность, стоимость.

### **Выбор волоконно-оптического кабеля.**

Основным элементом **оптического кабеля**, предназначенным для передачи информации, является оптическое волокно. Оптические волокна отличаются между собой геометрическими и оптическими параметрами, что достигается в процессе их производства. Но наиболее важными являются параметры передачи. Именно по ним следует подбирать нужный тип волокон для заданного участка сети. Основные параметры наиболее часто используемых волокон описаны в нормативных документах – Рекомендациях Международного Союза Электросвязи (ITU-T) серии G:

**Рекомендации ITU-T G.652** - Стандартное одномодовое оптоволокно имеет длину волны нулевой дисперсии величиной не более 3,5 пс/нм\*км около 1310 нм, оптимизировано для использования в области длины волны 1310 нм, может также быть использовано в области 1550 нм.

**Применение:** На ВОЛС первичной сети до уровня внутризональной сети, структурах широкополосного абонентского доступа, в том числе и по технологиям PON, для технологий CWDM до 8 несущих.

Характеристика	<b>G.652.A</b>	<b>G.652.B</b>	<b>G.652.C</b>	<b>G.652.D</b>
Длина волны, нм	1310	1310	1310	1310
Диаметр модового пятна, мкм	8,6–9,5±0,6	8,6–9,5±0,6	8,6–9,5±0,6	8,6–9,5±0,6
Диаметр оболочки, мкм	125,0±1	125,0±1	125,0±1	125,0±1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250,0±15	250,0±15	250,0±15	250,0±15
Эксцентриситет сердцевины, мкм	0,6 максимум	0,6 максимум	0,6 максимум	0,6 максимум
Сплюсненность оболочки	1,0% максимум	1,0% максимум	1,0% максимум	1,0% максимум
Длина волны отсечки кабеля, нм	1260 максимум	1260 максимум	1260 максимум	1260 максимум
Потери на макроизгибе, дБ	0,1 максимум на 1550 нм	0,1 максимум на 1550 нм	0,1 максимум на 1550 нм	0,1 максимум на 1550 нм
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум
Длина волны нулевой дисперсии, нм	от 1300 до 1324	от 1300 до 1324	от 1300 до 1324	от 1300 до 1324
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм*км, не более, в интервале длин волн: 1285-1330 1525-1575	3,5 18	3,5 18	3,5 18	3,5 18
Знак дисперсии	+	+	+	+
Коэффициент затухания, дБ/км; на длине волны, нм	0,5   1310	0,4   1310	0,4   all*	0,4   all*
	-   -	0,35   1550	0,35   1383	0,35   1383
	0,4   1550	0,4   1625	0,3   1550	0,3   1550
Коэффициент PMD, пс/√км	0,5	0,2	0,5	0,2

**Рекомендации ITU-T G.653** - Одномодовое оптоволокно с нулевой смещенной дисперсией (ZDSF-zero-dispersion-shifted fibre) для высокоскоростных линий связи с небольшой длиной регенерационного участка без применения технологий оптического уплотнения.

**Применение:** На ВОЛС первичной сети до уровня внутризоновой сети при скорости трафика до 40 Гб/с, но на небольшие расстояния, структурах широкополосного абонентского доступа, в том числе и по технологиям PON.

Характеристика	<b>G.653.A</b>	<b>G.653.B</b>
Длина волны, нм	1550	1550
Диаметр модового пятна, мкм	7,8–8,5±0,8	7,8–8,5±0,6
Диаметр оболочки, мкм	125,0±1	125,0±1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250,0±15	250,0±15
Эксцентриситет сердцевины, мкм	0,8 максимум	0,6 максимум
Сплюсненность оболочки	2,0% максимум	1,0% максимум
Длина волны отсечки кабеля, нм	1270 максимум	1270 максимум
Потери на макроизгибе, дБ	0,5 макс. на 1550 нм	0,1 макс. на 1550 нм
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум	0,69 минимум
Длина волны нулевой дисперсии, нм	от 1500 до 1600	от 1300 до 1324
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм*км, не более, в интервале длин волн: 1525-1575	3,5	3,5
Коэффициент затухания, дБ/км на длине волны, нм	0,35 / 1550	0,35 / 1550
Коэффициент PMD, пс/√км	0,5 пс/√км	0,20 пс/√км

**Рекомендации ITU-T G.654** - Одномодовое оптоволокно со смещенной длиной волны отсечки, которое имеет нулевую дисперсию при длине волны около 1300 нм, оптимизировано по затуханию для использования в диапазоне длин волн 1530–1625 нм

**Применение:** в морских и береговых волоконно-оптических системах дальней связи при больших протяженностях участков регенерации

Характеристика	<b>G.654.A</b>	<b>G.654.B</b>	<b>G.654.C</b>
Длина волны, нм	1550	1550	1550
Диаметр модового пятна, мкм	9,5–10,5±0,7	9,5–13±0,7	9,5–10,5±0,7
Диаметр оболочки, мкм	125,0±1	125,0±1	125,0±1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250,0±15	250,0±15	250,0±15
Эксцентриситет сердцевины, мкм	0,8 максимум	0,8 максимум	0,8 максимум
Сплюсненность оболочки	2,0% максимум	2,0% максимум	2,0% максимум
Длина волны отсечки кабеля, нм	1530 максимум	1530 максимум	1530 максимум
Потери на макроизгибе, дБ	0,5 максимум на 1625 нм	0,5 максимум на 1625 нм	0,5 максимум на 1625 нм
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум
Длина волны нулевой дисперсии, нм	-	-	-
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм*км, не более, в интервале длин волн: 1525-1575	20	22	20
Знак дисперсии	+	+	+
Коэффициент затухания, дБ/км; на длине волны, нм	0,22   1550	0,22   1550	0,22   1550
Коэффициент PMD, пс/√км	0,5	0,2	0,2

**Рекомендации ITU-T G.655** - Одномодовое оптоволокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fibre) **Применение:** системы DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing - системы спектрального уплотнения с высокой плотностью частотных интервалов. Одномодовое волокно с коэффициентом хроматической дисперсии (абсолютное значение), величина которого превышает некоторое ненулевое значение на всех длинах волн, больших 1530 нм. Эта дисперсия подавляет рост нелинейных эффектов, которые особенно вредны в системах плотного волнового мультиплексирования (DWDM). На более коротких длинах волн одно из значений коэффициента дисперсии может быть равно нулю, однако значения коэффициента хроматической дисперсии на этих длинах волн могут быть предусмотрены для поддержки систем грубого волнового мультиплексирования (CWDM), которые не имеют существенных искажений, вызываемых нелинейными эффектами.

Характеристика	G.655.A	G.655.B	G.655.C	G.655.D	G.655.E
Длина волны, нм	1550	1550	1550	1550	1550
Диаметр <u>модового пятна</u> , мкм	8,0–11,0±0,7	8,0–11,0±0,7	8,0–11,0±0,7	8,0–11,0±0,6	8,0–11,0±0,6
Диаметр оболочки, мкм	125,0±1	125,0±1	125,0±1	125,0±1	125,0±1
Диаметр <u>защ. покрытия</u> , мкм	250,0±15	250,0±15	250,0±15	250,0±15	250,0±15
Эксцентриситет сердц., мкм	0,8 максимум	0,8 максимум	0,8 максимум	0,6 максимум	0,6 максимум
Сплюсненность оболочки	2,0% максимум	2,0% максимум	2,0% максимум	1,0% максимум	1,0% максимум
Длина волны <u>отсечки</u> , нм	1450 максимум	1450 максимум	1450 максимум	1450 максимум	1450 максимум
Потери на макроизгибе, дБ	0,5 максимум на 1550 нм	0,5 максимум на 1625 нм	0,5 максимум на 1625 нм	0,1 максимум на 1625 нм	0,1 максимум на 1625 нм
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум	0,69 минимум
Коэф. хром. дисп. пс/нм*км, не более, 1460-1625 1530-1565 1565-1625	0,1-6 -	1-10 -	1-10 -	2,6-6,0 - 4,0-8,9	2,6-6,0 - 4,0-8,9
Знак дисперсии	+ и –	+ и –	+ и –	+ и –	+ и –
Коэффициент затухания, дБ/км; на длине волны, нм	-   - 0,35   1550	0,35   1550 0,4   1625	0,35   1550 0,4   1625	0,35   1550 0,4   1625	0,35   1550 0,4   1625
Коэффициент PMD, пс/√км	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2

**Рекомендации ITU-T - G.656** Одномодовое оптоволокно с ненулевой дисперсией для широкополосной передачи данных.

**Применение:** для передачи широкополосного оптического сигнала на базе CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing - разреженное спектральное уплотнение или спектральное уплотнение с низкой плотностью) и DWDM, снижен пик поглощения на ионах OH

Характеристика	G.656.A
Длина волны, нм	1550
<u>Диаметр модового пятна</u> , мкм	7,0–11,0±0,7
Диаметр оболочки, мкм	125,0±1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250,0±15
Эксцентриситет сердцевин, мкм	0,8 максимум
Сплюсненность оболочки	2,0% максимум
Длина волны отсечки, нм	1450 максимум
Потери на макроизгибе, дБ	0,5 максимум на 1625 нм
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм*км, не более, 1460-1625 1530-1565	2,0-8,0 4,0-7,0
Знак дисперсии	положительный

Коэффициент затухания, дБ/км; на длине волны, нм	0,4 / 1460
	0,35 / 1550
	0,4 / 1625
Коэффициент PMD, пс/√км	0,2

**Рекомендации ITU-T G.657** - Стандартное одномодовое оптоволокно.

**Применение:** в кабелях, предназначенных для прокладки внутри зданий и сооружений. Волокна категории В пригодны для передач на волнах длиной 1310, 1550 и 1625 нм на ограниченные расстояния, связанных с транспортом сигналов внутри помещений. Эти волокна характеризуются иными, по сравнению с волокнами G.652, свойствами сращивания и соединения, но допускают очень малые радиусы изгибов.

Характеристика	G.657.A1			G.657.A2			G.657.B2			G.657.B3		
Длина волны, нм	1310			1310			1310			1310		
Диаметр модового пятна, мкм	8,6–9,5±0,4			8,6–9,5±0,4			6,3–9,5±0,4			6,3–9,5±0,4		
Диаметр оболочки, мкм	125,0±0,7			125,0±0,7			125,0±0,7			125,0±0,7		
Эксцентриситет сердцевины, мкм	0,5 максимум			0,5 максимум			0,5 максимум			0,5 максимум		
Сплюсненность оболочки	1,0% максимум			1,0% максимум			1,0% максимум			1,0% максимум		
Длина волны среза кабеля, нм	1260 максимум			1260 максимум			1260 максимум			1260 максимум		
Потери на макроизгибе, дБ: радиус, мм количество витков макс. при 1550 нм макс. при 1625 нм	15 10 0,25 1,0	10 1 0,75 1,5		15 10 0,03 0,1	10 1 0,1 0,2	7,5 1 0,5 1,0	15 10 0,03 0,1	10 1 0,1 0,2	7,5 1 0,5 1,0	10 1 0,03 0,1	7,5 1 0,08 0,25	5 1 0,15 0,45
Проверочное напряжение, ГПа	0,69 минимум			0,69 минимум			0,69 минимум			0,69 минимум		
К - т хроматической дисперсии, пс/нм*км, не более, 1285-1330 1525-1575	3,5 18			3,5 18			-			-		
Коэффициент затухания max, дБ/км; на длине волны, нм	0,4   1310-1625			0,4   1310-1625			0,5   1310			0,5   1310		
	0,4   1383			0,4   1383			0,3   1550			0,3   1550		
	0,3   1550			0,3   1550			0,4   1625			0,4   1625		
Коэффициент PMD, пс/√км	0,20			0,20			-			-		

### Кабель витая пара.

Для того чтобы выбрать подходящий тип кабеля, перечислим некоторые основные факторы, влияющие на выбор:

- простота монтажа;
- экранирование кабеля не требуется, если кабель прокладывается в пределах одного здания как в данном случае;
- затухание сигнала – главная причина, которая ограничивает максимальную длину кабеля;
- скорость передачи данных.

Витая пара в качестве среды передачи используется во всех современных сетевых технологиях, а также в аналоговой и цифровой телефонии. Унификация пассивных элементов сети на витой паре стала основой для концепции построения структурированных кабельных систем, независимых от сетевых технологий. Любые сети на витой паре основаны на звездообразной топологии, которая при соответствующем активном оборудовании может служить основой для любой логической топологии.

Кабели на скрученной, или витой паре (Twisted Paircable, TP), в отличие от коаксиального кабеля, симметричны и используются для дифференциальной (балансной) передачи сигнала.

Скрученная пара проводов по свойствам существенно отличается от пары тех же прямых проводов, идущих рядом параллельно друг другу. При скручивании оказывается, что проводники всегда идут под некоторым углом друг к другу, что снижает емкостную и индуктивную связь между ними. Кроме того, значительный отрезок такого кабеля для внешних полей оказывается симметричным (круглым), что снижает его чувствительность к наводкам (по дифференциальной помехе) и внешние излучения при прохождении сигнала. Чем мельче шаг скрутки, тем меньше перекрестные помехи, но и больше погонное затухание кабеля, а также время распространения сигнала. Кабель может иметь различное исполнение, отдельные пары могут иметь экран из медной проволоки и/или фольги. В общий экран могут быть заключены и все пары кабеля.

Витая пара может быть как неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted Pair, UTP), так и экранированная витая пара (Shielded Twisted Pair, STP).

STP- кабель из витых пар с индивидуальной экранировкой каждой из них. Основными преимуществами экранированной витой пары являются защита от внешних электромагнитных наводок, повышенная механическая прочность и эффективная защита от несанкционированного доступа к передаваемой информации. В тоже время, наличие заземляемого экрана удорожает кабель, дополнительный защитный слой усложняет его прокладку.

Для соединения кабеля STP с сетевой платой можно использовать разъем D. Для подключения кабеля к устройству многостанционного доступа (MAU) или концентратору, используют разъем IBMDataConnector.

Кабель STP обычно используют в сетях TokenRing, UTP- в сетях Ethernet (10BaseT и 100BaseT) и изредка в сетях TokenRing.

UTP- кабель из неэкранированных витых пар и без общего экрана вокруг сердечника. К недостаткам UTP относятся низкий уровень защищенности от помех и большой уровень собственных излучений, а также возможность простого несанкционированного подключения к сети. Достоинствами этого кабеля являются дешевизна, небольшая трудоемкость в монтаже, отсутствие повышенных требований к внутреннему заземляющему контуру здания.

Категория(Category) витой пары определяет частотный диапазон, в котором ее применение эффективно. В настоящее время действуют стандартные определения 6 категорий кабеля (Category1...Category5e). Категории определяются стандартом EIA/TIA 586A. в последней графе приводится классификация линий связи, обеспечиваемых этими кабелями, по стандарту ISO 11801 и EN 50173.

### **Коаксиальные кабели.**

Наибольшую популярность в России получили кабели со стандартной экранировкой выпускаемые с плотностью экранной оплетки от 60% до 95%. Это позволяет реализовать коэффициент радиоэкранной защиты не менее 75 dB в диапазонах МВ и не менее 65 dB в диапазоне ДМВ. Кабели с суперэкранировкой обладают коэффициентом радиоэкранной защиты не менее 110 dB.

Во всех типах кабелей использована полихлорвиниловая оболочка и диэлектрик из вспененного полиэтилена. Это позволяет реализовать малые погонные потери, долговременную сохранность всех эксплуатационных параметров. Во влагоустойчивом кабеле использована гелиевая изоляционная прослойка, препятствующая проникновению влаги внутрь кабеля и повышающая его коррозионную стойкость. Кабель со стальным тросом рассчитан на суровые условия эксплуатации с учетом максимального провисания в 1 м при длине пролета до 150 м в условиях его обледенения.

### **6. Способ строительства, варианты прокладки кабельной системы.**

В настоящем разделе будут перечислены основные способы строительства ВОЛС и конструкции ВОК, которые могут быть использованы, при том или ином варианте.

Предложить конструкцию ВОК для выбранного способа строительства, можно используя каталоги производителей кабельной продукции, например, ОПТЭН, СевКабельОптик, ОКС-1, расположенных в С-Пб, или других производителей (интернет).

Определить число оптических волокон в кабеле -  $N$ , которое может быть рассчитано по формуле:

$$N = N_{\text{раб}} + N_{\text{рез}} + N_{\text{отв}}, \quad 6.1.$$

где  $N_{\text{раб}}$  – число рабочих волокон определяется исходя из количества используемых комплектов оборудования;

$N_{\text{рез}}$  – число резервных волокон – равно числу рабочих;

$N_{\text{отв}}$  – число волокон на ответвления, если это предусматривается проектом.

#### **Прокладка кабеля непосредственно в грунт.**

Характеризуется определенными требованиями к конструкции ВОК.

Прежде всего это наличие бронепокровов (рис.6.1.) того или иного вида, необходимых для защиты сердечника ВОК от различного рода механических повреждений при давлении грунта. Прокладка

осуществляется

кабелеукладчиком или в ручную, необходимо контролировать усилие тяжения. Стоимость такого типа



Кабель типа ОКЛ.



Кабель типа ОКБ.

Рис.6.1. ВОК для прокладки непосредственно в грунт.



ВОК лежит в среднем в районе от 2800 до 3600 \$/км.

### **Прокладка ВОК в защитную трубу.**

Предварительно прокладывается в грунт кабелеукладчиком (рис.6.2) защитная труба (рис.6.3), а затем в неё пневмоспособом задувается ВОК. При укладке кабелей в трубопроводах повышается степень защиты последних от вибрационных воздействий и механических напряжений, возникающих в результате деформации грунта. ВОЛС становится полностью диэлектрической т.к. требования к механическим характеристикам ВОК ниже и необходимость применения бронепокровов отпадает (рис.6.4).



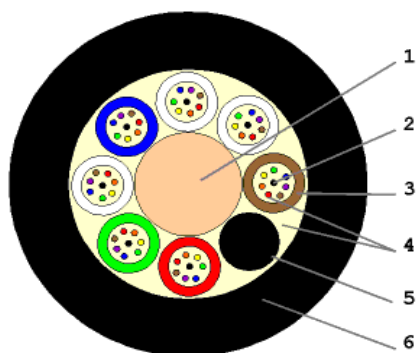
Рис.6.2. Прокладка труб (кабеля).



Рис.6.3. Защитные трубопроводы.

Прокладка трубопровода осуществляется кабелеукладчиком, в траншею.

Надежность подобного типа ВОЛС выше. Современное оборудование для задувки кабеля (рис.6.5.) обеспечивает скорость задува 60 – 80 м/мин, что позволяет существенно увеличить скорость строительства ВОЛС и обеспечить её высокую ремонтпригодность.



1. Центральный силовой элемент.
  2. Оптическое волокно (от 2-х до 12-ти в каждом модуле).
  3. Опт. модуль (от 1-го до 12-ти).
  4. Гидрофобный наполнитель.
  5. Кордель.
  6. Полиэтиленовая оболочка.
- Рис.9.4. ВОК для пневмопрокладки.



Рис.6.5. Инжектор ПСИ-1 для задувки кабеля

### Прокладка ВОК в кабельную канализацию.

Этот способ (рис.6.6) применяется, как правило, в населенных пунктах. Его реализация осуществляется либо прокладкой бронированного кабеля непосредственно в асбоцементный канал кабельной канализации (КК), либо



Рис.6.6. Прокладка ВОК в ка

сначала затаскивают в канал полиэтиленовую трубу, а затем в неё ВОК более простой конструкции и, соответственно, более дешевый.

Подземная КК с длиной пролётов между смотровыми устройствами до 150 м сооружается из одиночных или сблокированных в пакеты труб.

Для введения кабеля в кабельную канализацию наиболее широко используется метод затягивания кабеля с помощью лебёдки, снабжённой устройством ограничения тягового усилия.

При этом не должны превышать указанные в нормативно-технической документации механические воздействия на кабель, в первую очередь усилия растяжения и сжатия, климатические условия (нижняя предельная температура прокладки, как правило, составляет  $-10^{\circ}\text{C}$ ), допустимые радиусы изгиба кабеля (радиус изгиба не должен быть менее 20 наружных диаметров).



### **Организация переходов через различные преграды.**

Основным методом для организации кабельных переходов через различного рода коммуникации, дороги, реки, озера или просто неудобные места, является горизонтально (вертикально) направленное бурение. Оно организуется посредством специальных машин и механизмов, отвечающих конкретным условиям прокладки кабеля (рис.6.7).



Рис 6.7. Организация переходов методом горизонтально-направленного бурения.

Метод горизонтально-направленного бурения является альтернативной традиционному траншейному методу и позволяет преодолевать преграды, встречающиеся на пути линейной части трубопроводов (реки, дамбы, дороги, железнодорожные насыпи и т.д.), без нарушения режима их функционирования. Технология горизонтально-направленного бурения не является дешевой. Хотя денежные, и особенно, временные затраты значительно экономятся на стадии строительства, основная экономия от применения метода лежит в долгосрочной перспективе.

### **Воздушные способы строительства ВОЛС.**

Широкое распространение получили различные варианты воздушного способа строительства ВОЛС.

Эти способы обладают целым рядом неоспоримых преимуществ перед подземными и заключаются в следующем – нет необходимости в землеотводе, нет необходимости копать землю. В результате стоимость строительства в 2 и более раз ниже, а скорость строительства в несколько раз выше, что обусловлено, прежде всего, возможностью «привязать» конструкцию ВОК к тому или иному варианту.

В качестве опор, которые могут быть использованы для строительства воздушных ВОЛС, рассматриваются следующие:

- опоры магистральных линий электропередачи (ЛЭП) с напряжением от 35 кВ и выше;
- опоры распределительных ЛЭП, например, до 10 кВ, которые, между прочим, подходят, практически, к каждому населенному пункту;
- опоры контактных сетей электрофицированных железных дорог (ЭЖД);
- опоры воздушных линий связи (если они в нормальном состоянии).

Реализация подобного типа ВОЛС может быть выполнена разнообразными способами, которые имеют свои достоинства и недостатки.

#### **Подвеска ВОК.**

Самый простой способ, который с успехом применялся и при строительстве металлических линий связи простейших вариантов. Наиболее широко распространенный вариант для ВОЛС это использование кабеля типа 8-ки (рис.6.8). Технология подвески ВОК типа «восьмерки» приведена на рис. 6.9.

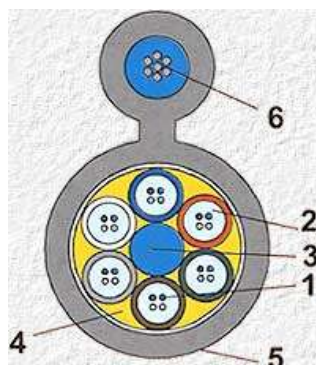


Рис.6.8. Конструкция ВОК типа «восьмерки»:

1. Оптическое волокно.
- 2, 4 Гидрофобные аполнители.
3. Центральный силовой элемент – стеклопластиковый пруток.
5. Внешняя оболочка.
6. Внешний силовой элемент.



Рис.6.9.. Подвеска ВОК типа 8-ки .

К недостаткам этого способа следует отнести – высокая парусность ВОЛС, что приводит к сильной вибрации, в результате происходит отрыв троса от сердечника ВОК. Обледенение кабеля в зимний период и обрыв линии. Воздействие солнечной радиации и прочих атмосферных факторов, приводящих к коррозии внешней влагозащитной оболочки ВОК.

Все это приводит к тому, что срок службы подобного типа линий не превышает 17 – 18 лет. Однако здесь используется самый дешевый кабель (в районе 1800 – 2400 \$/км) и скорость строительства высока до 5 – 6 км в смену.

### **ВОК в грозозащитном тросе.**

Один из самых дорогих вариантов строительства ВОЛС- подвеска ВОК в грозозащитном тросе по ЛЭП. Сам кабель очень дорогой т.к. содержит много упрочняющих элементов, конструкция кабеля приведена на (рис.6.10.). Его стоимость лежит в пределах 5000 – 7000 \$/км. Кабель предназначен для подвески на опорах воздушных линий электропередач от 35 кВ и выше вместо грозозащитного троса. Заземляющий провод, имеющий один или два



слоя проволок из ASC, содержащий оптический сердечник, монтируется наверху ЛЭП и несет двойную функцию грозотроса и кабеля связи.

Процесс строительства таких ВОЛС, сложная техническая задача, связанная с

применением мощных натяжных механизмов, а скорость строительства и технология замены существующего троса на волоконно-оптический в очень сильной степени зависит от профиля ЛЭП, т.е. местности, по которой она проходит.

Высокая надежность ВОЛС реализованных на базе грозозащитного троса объясняется тем, что несущие конструкции ЛЭП рассчитаны на длительный срок службы (до 50 лет) и выдерживают внешние разрушающие нагрузки, вплоть до ураганных. Кроме того, вряд ли возможны механические повреждения ВОЛС, которая расположена на высоте 10-ти этажного дома в очень прочной металлической оболочке. Этим объясняется их строительство в труднодоступных регионах, которых в нашей стране предостаточно.

### **ВОЛС на основе самонесущего ВОК.**

Способ строительства нашел наиболее широкое распространение - контактные сети ЭЖД ( $L_{\text{прол.}} \approx 70$  м), распределительные сети ЛЭП ( $L_{\text{прол.}} = 50 \div 70$  м.), опоры ВЛС ( $L_{\text{прол.}} = 50 \div 70$  м.), на переходах между дамами в городах. При увеличении длины пролета требуется увеличение механических характеристик ВОК, что неизбежно ведёт к увеличению количества армирующих элементов в конструкции сердечника и, соответственно, веса ВОК, что, в свою очередь, увеличивает вес кабеля в пролёте и вызывает дальнейшую необходимость роста механических параметров ВОК (рис.6.11).





Рис.6.11. Строительство ВОЛС на основе самонесущих ВСК.

### Навивная технология строительства ВОЛС.

Одна из наиболее интересных



Рис.6.12. Навивной волоконно-оптический кабель - ДПО, ДВО.

как с точки зрения технической реализации, так и возможностей прокладки кабеля.

Достоинства навивной технологии неоспоримы. Прежде всего, это возможность строить ВОЛС практически в любых условиях, как пересеченной местности – горы, тундра, тайга там, где построены ЛЭП, так и различных промышленных преград – железные и автомобильные дороги, фидерные линии различного назначения, дома, огороды, овраги и пр. без дополнительных приспособлений и помостов.



Вторым важным фактором является то, что подобного типа линия не требует большого числа дополнительных элементов крепления, а использует мощные несущие конструкции существующих линий электропередач (грозозащитный трос, фазовые провода), которые и обеспечивают должную механическую защиту ВОЛС.

Кабель для накрутки на провода – один из самых дешевых т.к. не требует дополнительных элементов жесткости. Конструкция навивных кабелей приведена на рис. 6.12. Особое требование – высокая трекинг-эрозийная стойкость внешней влагозащитной оболочки, поскольку кабель, как правило, висит в мощном электрическом поле.

Реализация навивной технологии осуществляется с применением специальной навивочной машины, которая и осуществляет накрутку легкого, полностью диэлектрического ВОК на несущий трос.



## 7. Компоненты кабельной системы HFC, FTTx, PON.

### 7.1. Коаксиальные кабели.

Общеизвестно, что тип используемого кабеля в значительной степени определяет качество трансляции TV сигналов в протяженных магистралях. Хороший кабель должен обладать следующими характеристиками:

- малыми погонными потерями и широким диапазоном рабочих температур;
- высоким коэффициентом радиоэкранной защиты, характеризующим уровень внешних электромагнитных наводок, что особенно важно при внедрении услуг интерактивного сервиса;
- однородностью волнового сопротивления;
- малым сопротивлением центральной жилы и экранной оплетки постоянному току (при дистанционном питании);

Условно все типы кабелей можно разделить на три категории: магистральные, субмагистральные и домовые (абонентские).

Успешно зарекомендовавшая себя компания **CommScope** выпускает очень широкий класс кабелей для CATV, MATV и SMATV сетей.

Наибольшую популярность в России от CommScore получили кабели со стандартной экранировкой выпускаемые с плотностью экранной оплетки от 60% до 95% (табл. 7.1, 7.2). Это позволяет реализовать коэффициент радиоэкранной защиты не менее 75 dB в диапазонах МВ и не менее 65 dB в диапазоне ДМВ. Кабели с суперэкранировкой обладают коэффициентом радиоэкранной защиты не менее 110 dB.

Необходимо помнить, что коэффициент радиоэкранной защиты является важнейшим параметром при внедрении услуг интерактивного сервиса. Особенно этот параметр распространяется на абонентские кабели, используемые в стояках и во внутриквартирной разводке, где наблюдаются значительные шумы ингрессии. Некоторые фирмы-производители не заявляют этот важнейший параметр или заявляют его со свойственной методикой, отличной от EN 60023. Также необходимо знать, что коэффициент радиоэкранной защиты зависит от диапазона частот и снижается при изгибе на 10-20 dB.

Во всех типах кабелей использована полихлорвиниловая оболочка и диэлектрик из вспененного полиэтилена. Это позволяет реализовать малые погонные потери, долговременную сохранность всех эксплуатационных параметров. Во влагоустойчивом кабеле использована гелиевая изоляционная прослойка, препятствующая проникновению влаги внутрь кабеля и повышающая его коррозионную стойкость. Кабель со стальным тросом рассчитан на суровые условия эксплуатации с учетом максимального провисания в 1 м при длине пролета до 150 м в условиях его обледенения.

Табл. 7.1. CATV кабели CommScore.












Назначение	Абонентский	Суб.магистральный	Магистральные		
Тип кабеля	F660BV F6...BVV F2-660BVM (серия 6)	F1160BV F1160BVV F1160BEF (серия 11)	QR 540	QR 715	QR 860
Диаметр ЦП, мм	1,02	1,63	3,15	4,22	5,16
Диаметр д-ка, мм	4,57	7,00	13,03	17,42	21,03
Диаметр ВП, мм	4,75	7,29	13,72	18,16	21,84
Внешний диаметр, мм	6,91	10,03	15,49	19,94	24,38
Диам. троса, мм	1,3/1,83	1,83/2,72	2,77	44,78	4,78
$\alpha$ дБ/100м, МГц					
f = 5	1,9	1,25	0,46	0,36	0,30
f = 50	5,25	3,15	1,44	1,15	0,98
f = 250	14,43	9,02	4,59	3,67	3,12
f = 600	16,73	10,43	5,38	4,30	3,61
f = 865	20,01	13,05	6,56	5,31	4,36
f = 1000	21,49	14,27	7,12	5,74	4,72
Коэффициент радиоэкр. защиты, дБ	80-90	135	130	120	
Мин. радиус изгиба, мм	50-70	50-70	102	127	178
					



Табл. 7.2. SMATV кабели CommScope.

F113	SAT703	SAT700	Koka 799		RG-6	RG-11
F113 78BV F113 50TSE F113 50TSV	SAT7032H SAT703B SAT703N SAT703-2G	SAT700	Koka 799		RG-6, RG-6 digital	RG-11E RG-11D RG-11M RG-11MD
Конструкция	Cu	Cu	Cu		Cu	Омедненная сталь
ЦП, диаметр, мм	1,13			1,1	1,0/1,02	1,63
Д-к диаметр, мм	PEG 4,80				PEG 4,8/4,57	PEG 7,1
Экран – фольга диаметр, мм	Al 4,98	Al / AL <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> 100		Al/Pet/Al 100%	Al	
Оплетка Плотность, % диаметр, мм	CuSn 78/50/50	CuSn 45 5,40		CuSn 38 5,29	CuSn - 5,6	Al 60
Дополнительный экран	Al	Pet 63		Pet 5,32	Al	
Внешняя об-ка д., мм	PVC/PE/PVC6,60/6,9/6,91	LSZH/PVC/PVC 6,60/6,60/7,60		PVC 6,60	PVC 6,8	PVC6,8/6,91
Волн.сопротивление, Ом	75 ± 3				75 ± 2	
α, дБ/100 м: f = 5 МГц f = 50 МГц f = 200 МГц f = 400 МГц f = 800 МГц f = 1000 МГц f = 1750 МГц f = 2400 МГц f = 3000 МГц	1,4 4,0 8,2 11,8 17,0 19,0 25,5 30,1 33,8	1,4 4,4 8,8 - - 19,3 25,4 29,7 33,1	4,3 8,0 12,7 - - 22,6 26,1 - -	1,6 4,4 8,2 12,1 18,0 20,5 - 33,4 -	- - 9,5/- -/13,3 23,2/- - - - -	- - 6,3/-/6,3/- -/8,9/-/8,9 13,5/- -/14,8/-- - -/21,6/- -
Коэффициент РЭЗ: 30-1000 МГц, дБ 1000-2400 МГц, дБ	>90/>100/≥100/>90/ ≥90	> 75		> 75 > 65	> 85 > 85	>85
Конструкции						

## 7.2. Кабель «витая пара».

Для того чтобы выбрать подходящий тип кабеля, перечислим некоторые основные факторы, влияющие на выбор:

- простота монтажа;
- экранирование кабеля не требуется, если кабель прокладывается в пределах одного здания, к тому же экранированный кабель является очень критичным к качеству выполнения монтажа и заземления, имеет большую стоимость;
- затухание сигнала – главная причина, которая ограничивает максимальную длину кабеля;

- скорость передачи данных ограничена протяженностью сегмента сети и категорией кабеля.

Витая пара в качестве среды передачи используется во всех современных сетевых технологиях, а также в аналоговой и цифровой телефонии. Унификация пассивных элементов сети на витой паре стала основой для концепции построения структурированных кабельных систем, независимых от сетевых технологий. Любые сети на витой паре основаны на звездообразной топологии, которая при соответствующем активном оборудовании может служить основой для любой логической топологии.

Кабели на скрученной, или витой паре (TwistedPaircable, TP), в отличие от коаксиального кабеля, симметричны и используются для дифференциальной (балансной) передачи сигнала.

При скручивании оказывается, что проводники всегда идут под некоторым углом друг к другу, что снижает емкостную и индуктивную связь между ними. Кроме того, значительный отрезок такого кабеля для внешних полей оказывается симметричным (круглым), что снижает его чувствительность к наводкам (по дифференциальной помехе) и внешние излучения при прохождении сигнала. Чем мельче шаг скрутки, тем меньше перекрестные помехи, но и больше погонное затухание кабеля, а также время распространения сигнала. Кабель может иметь различное исполнение, отдельные пары могут иметь экран из медной проволоки и/или фольги. В общий экран могут быть заключены и все пары кабеля.

Витая пара может быть как неэкранированная витая пара (UnshieldedTwistedPair, UTP), так и экранированная витая пара (ShieldedTwistedPair, STP).

**STP- кабель из витых пар с индивидуальной экранировкой каждой из них.** Основными преимуществами экранированной витой пары являются защита от внешних электромагнитных наводок, повышенная механическая прочность и эффективная защита от несанкционированного доступа к передаваемой информации. В тоже время, наличие заземляемого экрана удорожает кабель, дополнительный защитный слой усложняет его прокладку.

Для соединения кабеля STP с сетевой платой можно использовать разъем D. Для подключения кабеля к устройству многостанционного доступа (MAU) или концентратору, используют разъем IBMDataConnector.

Кабель STP обычно используют в сетях TokenRing, UTP- в сетях Ethernet (10BaseT и100BaseT) и изредка в сетях TokenRing.

**UTP- кабель из неэкранированных витых пар и без общего экрана вокруг сердечника.** К недостаткам UTP относятся низкий уровень защищенности от помех и большой уровень собственных излучений, а также возможность простого несанкционированного подключения к сети. Достоинствами этого кабеля являются дешевизна, небольшая трудоемкость в монтаже, отсутствие повышенных требований к внутреннему заземляющему контуру здания.

Категория(Category) витой пары определяет частотный диапазон, в котором ее применение эффективно. В настоящее время действуют стандартные определения 6 категорий кабеля (Category1...Category5e).

Частотные диапазоны применимости кабелей различных категорий приведены в таблице 7.3. Категории определяются стандартом EIA/TIA 586A. в последней графе приводится классификация линий связи, обеспечиваемых этими кабелями, по стандарту ISO 11801 и EN50173.

Таблица 7.3. Частотные диапазоны кабелей различных категорий

Категория	Класс линии	Полоса частот, МГц	Типовое сетевое приложение
1	A	0.1	Аналоговая телефония
2	B	1	Цифровая телефония, ISDN
3	C	16	10Base-T(Ethernet)
4	–	20	Token Ring 16 Мбит/с
5	D	100	100Base-TX(Fast Ethernet)
5e	D	125	1000Base-TX(Gigabit Ethernet)
6	E1	200	–
7	F1	600	–

- Кабель категории 1 – это обычный телефонный кабель (пары проводов не витые), по которому можно передавать только речь, но не данные. Данный тип кабеля имеет большой разброс параметров (волнового сопротивления, полосы пропускания, перекрестных наводок).

- Кабель категории 2 – это кабель из витых пар для передачи данных в полосе частот до 1 МГц. Кабель не тестируется на уровень перекрестных наводок. В настоящее время он используется очень редко. Стандарт EIA/TIA 568 не различает кабели категорий 1 и 2.

- Кабель категории 3 – это кабель для передачи данных в полосе частот до 16 МГц, состоящий из витых пар с девятью витками на метр длины. Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Это самый простой тип кабелей, рекомендованный стандартом для локальных сетей. Сейчас он имеет наибольшее распространение.

- Кабель категории 4 – это кабель, передающий данные в полосе частот до 20 МГц. Используется редко, так как не слишком заметно отличается от категории 3. стандартом рекомендуется переходить сразу на кабель категории 5. Кабель категории 4 тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Кабель был разработан для работы в сетях по стандарту IEEE 802.5.

- Кабель категории 5 – рассчитан на передачу данных в полосе частот до 100 МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27 витков на метр длины. Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Рекомендуется применять его в современных высокоскоростных сетях типа FastEthernet и TPFDDI. Кабель категории 5 примерно на 30-50% дороже, чем кабель категории 3.

- Кабель категории 5е рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 125 МГц. По соотношению цена-качество в данное время он является лучшим вариантом.

- Кабель категории 6 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 МГц.

- Кабель категории 7 – перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 600 МГц.

Согласно стандарту EIA/TIA 568, полное волновое сопротивление наиболее совершенных кабелей категорий 4, 5 и 5е должно составлять  $100 \text{ Ом} \pm 15\%$  в частотном диапазоне от частоты 1 МГц до максимальной частоты кабеля. Для согласования импедансов кабеля и оборудования в случае их несовпадения применяют согласующие трансформаторы (Balun).

Второй важнейший параметр, задаваемый стандартом – это максимальное затухание сигнала, передаваемого по кабелю на разных частотах. В таблице 7.4 приведены предельные значения величины затухания для кабелей категорий 4, 5, 5е для расстояния 1000 футов (305 метров) при нормальной температуре окружающей среды 20°C.

Таблица 7.4. Максимальное затухание в кабелях.

Частота, МГц	Максимальное затухание, дБ/305м		
	Категория 5е	Категория 4	Категория 5
0,064	2,0	2,3	2,2
0,256	3,0	3,4	3,2
0,512	4,0	4,6	4,5
0,772	5,3	5,7	5,5
1,0	6	6,5	6,3
4,0	12	13	13
8,0	16	19	18
10,0	18	22	20
16,0	23	27	25
20,0	25	31	28
25,0	28	–	32
31,25	32	–	36
62,5	48	–	52
100	54	–	67
125	65	-	-

Из таблицы видно, что величины затухания на частотах, близких к предельным, для всех кабелей очень значительны. Даже на небольших расстояниях сигнал ослабляется в десятки и сотни раз, что предъявляет высокие требования к приемникам сигнала.

Еще один специфический параметр, определяемый стандартом – это величина перекрестной наводки на ближнем конце (NEXT – NearEndCrosstalk). Он характеризует влияние разных проводов в кабеле друг на друга. В таблице 7.5 представлены значения допустимой перекрестной наводки на ближнем конце для кабелей категорий 4, 5 и 5е на различных частотах сигнала. Естественно, более качественные кабели обеспечивают меньшую величину перекрестной наводки.

Таблица 7.5. Допустимые уровни перекрестных наводок

Частота, МГц	Перекрестная наводка на ближнем конце, дБ		
	Категория 5e	Категория 4	Категория 5
0,150	-84	-68	-74
0,772	-74	-58	-64
1,0	-73	-56	-62
4,0	-63	-47	-53
8,0	-52	-42	-48
10,0	-50	-41	-47
16,0	-48	-38	-44
20,0	-45	-36	-42
25,0	-44	—	-41
31,25	-43	—	-40
62,5	-42	—	-35
100,0	-40	—	-32
125	-38	-	-

Стандарт определяет также максимально допустимую величину рабочей емкости каждой из витой пар кабелей категории 4 и 5, она должна составлять не более 17 нФ на 305 метров (1000 футов), а для кабеля 5е 46пФ/м, при частоте сигнала 1 КГц и температуре окружающей среды 20°С.

Для присоединения витых пар используются разъемы (коннекторы) типа RJ-45 (рис.7.1), похожие на используемые в телефонах RJ-11, но несколько большие по размеру. Разъемы RJ-45 имеют восемь контактов вместо четырех в случае RJ-11. Присоединяются разъемы к кабелю с помощью специальных обжимных инструментов. При этом золоченые игольчатые контакты разъема прокалывают изоляцию каждого провода, входят между его жилами и обеспечивают качественное и надежное соединение.



Рис.7.1. Разъемы (коннекторы) типа RJ-45.

Кабели выпускаются с двумя типами внешних оболочек:

- кабель в поливинилхлоридной (ПВХ, PVC) оболочке дешевле и предназначен для работы кабеля в сравнительно комфортных условиях эксплуатации;
- кабель в тефлоновой оболочке дороже и предназначен для более жестких условий эксплуатации.

Кабель в ПВХ-оболочке называется еще non-plenum, а кабель в тефлоновой оболочке — plenum. Термин plenum обозначает пространство под фальшполом и над подвесным потолком, где очень удобно размещать кабели сети. Для прокладки в этих скрытых от глаз пространствах удобнее кабель в тефлоновой оболочке, который, в частности, горит гораздо хуже, чем ПВХ-кабель, и не выделяет при горении так много ядовитых газов.

Выбранная технология прокладки кабеля в доме FastEthernet определяет три среды передачи: 100Base-T4, 100Base-TX и 100Base-FX, то

будет выбран 100Base-TX (передача идет по двум витым проводам со скоростью 100 Мбит/с.), т.е. неэкранированный кабель UTP категории 5.

Этот вариант удовлетворяет всеми параметрами в данном случае:

- поддерживает высокоскоростную технологию;
- максимальная длина кабеля не превышает 100м;
- прост в монтаже;
- самый дешевый вариант.

Кроме того, неэкранированная витая пара пригодна для работы с системами телефонной связи.

Витая пара.

Для построения распределительной сети внутри здания, например, используется кабель витая пара типа КПВ-ВП 24х2х0,51 (рис.7.2).

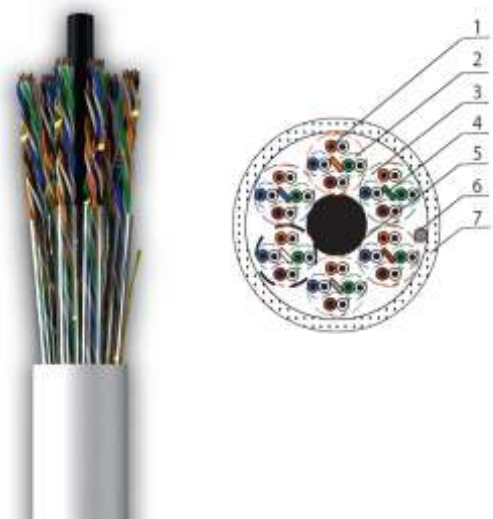


Рис. 7.2.Сечение кабеля типа КПВ-ВП.

- 1) Токопроводящая жила: медная проволока диаметром 0,51 мм (24 AWG)
- 2) Изоляция: полиэтилен, диаметр проводника: 0,91 мм  
Пара: 2 скрученных вместе проводника  
Количество пар: 8, 12, 16, 24, 25, 32, 64
- 3) Пучок: 4 витые пары скрученные вместе
- 4) Идентификационная лента расположена внутри пучка, каждый пучок идентифицируется лентой индивидуального цвета
- 5) Заполняющий элемент: пластмассовый кордель
- 6) Рип-корд: арамидная нить
- 7) Внешняя оболочка: поливинилхлоридный пластикат (ПВХ)

### 7.3. Волоконно-оптические кабели.

В настоящее время при строительстве сетей применяется несколько типов оптических волокон, характеристики которых регламентированы рекомендациями ИТУ-Т (см. выше).

#### Конструкции оптического кабеля.

При строительстве сетей типа HFC, FTTx, PON используют оптические кабели, прокладываемые на различных участках (табл.7.6), например:

- магистральный, распределительный, абонентский и в различных условиях;
- непосредственно в грунт, в канализации, по воздуху или в зданиях.

Требования, предъявляемые к кабелю на каждом из этих этапов, отличаются принципиально, что приводит к многообразию их конструкции.

В первую очередь, они определяются условиями прокладки кабеля - будь то в грунт, в кабельную канализацию, подвеска на опорах, прокладка во внутренних кабель-каналах и стояках здания, а так же необходимым числом волокон.

При подземной прокладке кабеля принципиально важно иметь защиту от грызунов (обычно – броня из стальной гофрированной ленты) и попадания влаги (толстая полиэтиленовая оболочка, влагозащитный барьер,

гидрофобное заполнение сердечника), а также от растягивающих усилий, случайных механических повреждений и других факторов.

Для подвесных оптических кабелей очень важным является стойкость к растягивающим усилиям (обеспечивается подбором несущего троса или другими силовыми элементами) и перепадам температур (обеспечивается, в основном, материалом и конструкцией наружной оболочки).

К основным требованиям к кабелям прокладываемым внутри помещений, относятся:

- нераспространение горения (применяются не поддерживающие горение оболочки);
- гибкость;
- легкость;
- защита от случайных ударов, растягивания, скручивания, сдавливания.

Таблица 7.6. Требования к волоконно-оптическим кабелям.

Условия прокладки	Основные воздействующие факторы	Конструктивные методы защиты
Непосредственно в грунт	Атаки грызунов, растягивающие усилия, случайные удары, проникновение влаги, раздавливающие усилия, скручивание.	Броня, продольные силовые элементы, влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель, конструкция сердечника, наружная оболочка.
В кабельной канализации	Атаки грызунов, растягивающие усилия, проникновение влаги, скручивание.	Броня, прокладка в защитных трубах, продольные силовые элементы, влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель, оболочка.
Подвеска на опорах	Растягивающие усилия, перепады температур, проникновение влаги, солнечная радиация, ветровые нагрузки, обледенение.	Продольные силовые элементы из арамидных нитей или стеклопластиковых прутков, влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель, трекинго-эррозионно стойкая оболочка.
Кабельные вводы в дом	Изгибы, растягивающие усилия, проникновение влаги, скручивание, возгорание.	Продольные силовые элементы, влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель, наружная оболочка LSZH или PVS.
Внутри помещений	Изгибы с недопустимым радиусом, растягивающие усилия, скручивание, возгорание, случайные удары, раздавливающие усилия.	Силовые элементы – арамидные нити, влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель, наружная оболочка LSZH или PVS.

В таблице 7.6. указаны факторы, которые воздействуют на оптические кабели, проложенные в различных условиях и конструктивные методы защиты от них, что позволяет выбрать конструкцию ВОК в соответствии с требованиями проектных решений, см. табл.7.7.

Таблица 7.7. Марки ВОК.

№	ВОК для непосредственной прокладки в грунт	
1	ДПС ОВ 2-16	Центральный силовой элемент - диэлектрический, броня из стальных оцинкованных проволок
2	ДПН 2 -16	Тоже с ВЗО Н
3	ДПГ 2 - 16	Тоже с ВЗО Г
4	СПС 2 - 16	Центральный сил. эл. стальной, броня из стальных оцинкованных проволок

5	СПН 2 - 16	Тоже с ВЗО Н
6	СПГ2 - 16	Тоже с ВЗО Г
7	ТОС 2 - 24	В грунтах всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям, полиэтиленовая
8	ОПС от 2 до 144	Трубчатый сердечник кабеля, однослойная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
9	ОПУ от 2 до 144	Трубчатый сердечник кабеля, однослойная броня из стальных проволок усиленная, внешняя полиэтиленовая оболочка
10	ДПС от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, броня из гофрированной стальной ленты, внешняя полиэтиленовая оболочка
11	ДПУ от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, однослойная усиленная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
12	ДП2 от 2 до 144	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка, двухслойная броня из стальных проволок, внешняя полиэтиленовая оболочка
<b>Марка ДПО, ДПЛ в кабельную канализацию</b>		
13	ДПЛ от 2 -16	Диэлектрический, стальная гофрированная лента с полимерным покрытием
14	ДПО от 2 -16	Диэлектрический ЦСЭ, полиэтиленовая оболочка
15	ДПО от 2 -144	тоже
16	ДОЛ от 2 -216	В кабельной канализации, блоках, трубах (включая метод пневмопрокладки) при опасности повреждения грызунами. По мостам и эстакадам. Гофрированная броня.
17	ДАО от 2-216	В кабельной канализации, блоках, трубах (включая метод пневмопрокладки). Гофрированная броня
<b>Подвесной ВОК типа 8-ки</b>		
18	ОПД от 2 до 64	Кабели содержат (ЦСЭ) из стеклопластика, вокруг ЦСЭ скручены оптические модули с волокнами и кордели. В качестве периферийного силового элемента использован стеклопластиковый пруткок.
19	ОПВ от 2-24	Для подвески на опорах линий связи, контактной сети железных дорог, линий электропередач.
20	ОКТс от 2 до 48	Несущий элемент - стальной трос.
21	ДПВ от 2 до 16	<i>Вынесенный силовой элемент: диэлектрический (ДПИ) стальной (ДПВ)</i>
<b>Самонесущие ВОК</b>		
22	ОКА-М6П-16А-4,0(с)	Кабель оптический самонесущий 16 волокон одномод 4кН, Электропровод
23	ОКА-М6П-16А-6,0(с)	Кабель оптический самонесущий 16 волокон одномод 6кН, Электропровод
24	ОКК от 2 до 144	Диэлектрический самонесущий с силовым элементом и броней из высокомодульных арамидных нитей. Саранскабель-Оптика.
25	ДПМ от 2 до 16	Для подвески на опорах линий электропередачи, контактной сети железных дорог, воздушных линий связи. <i>Повив из несущих силовых элементов из диэлектрических стержней. Оптен</i>
26	ДПТ от 2 до 16	Для подвески на опорах линий электропередачи, контактной сети железных дорог, воздушных линий связи. <i>Повив из силовых элементов из высокомодульных прядей. Оптен</i>
27	ПЗВ_О (СИП_О)	Одновременная передача электрической энергии и оптических сигналов связи. Монтируется методом подвески на ЛЭП напряжением 10 кВ.

На территории России располагается несколько производств волоконно-оптических кабелей связи. Волоконно-оптические кабели в зависимости от применения могут значительно отличаться. Единого классификатора оптических кабелей нет и каждый производитель использует собственную маркировку кабелей. В таблице 7.8 приведено соответствие основных типов оптических кабелей у различных производителей.

Табл.7.8. Производители ВОК.

Производитель	Для прокладки в трубах и коллекторах	С броней из гофрированной стальной ленты	С броней из круглых стальных проволок	Подвесные самонесущие	С усиленной броней
Еврокабель - I	ОТД, ОТМ, ОТЦ, ОТЦм	ОКД, ОКМ, ОКЦ	ОГД, ОГМ, ОГЦ	ОПД, ОСД	ОГД, ОГМ
Москабель-Фуджикура	ОККТМ, ОККТЦ, ОККТЦГ	ОКСТМ, ОКСТЦ	ОМЗКГМ	ОКСНМ	ОМЗКГМ



ОКС - 01	ДПО, ДАО	ДПП	ОПС, ОАС, ДПС, ДАС	ДПМ, ДПТ	ОА2, ДАУ, ДП2, ДА2
ОФС-Связьстрой - 1	ДП, СП, ДПа, СПа	ДБП	ДКП-03	ДС, ДТ	ДКП-07, ДКП-20
Самарская Оптическая Кабельная Компания	ОКЛ	ОКЛСт	ОКЛК	ОКЛЖ	-
Саранскабелль-Оптика	ОКГ	ОКЛ	ОКБ	ОКК	-
Севкабель-оптик	ДПО	ДПЛ	ДПС	ДПТ	ДПУ, ДА2
Трансвок	ОКМТ	ОКЗ	ОКБ	ОКМС	ОКБу
Электропровод	ОК	ОКС	ОКБ	ОКА	-
Эликс-кабель	ДПО	ДПЛ, СПЛ	ДПС	ДПТ	ДПУ, ДА2

**Маркообразование оптических кабелей** - позволит правильно выбрать конструкцию и параметры оптического кабеля.

В связи с переработкой технических условий в «Севкабель\_Оптика» принят новый способ маркирования оптических кабелей:

*Пример:*

**СКО** **ДПС** **020А/004Н** **06** **А08х2/04х1/Н04х1** **Э2** **15** **.....**

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

#### **Группы символов в маркировке:**

1. Код разработчика или изготовителя (всегда СКО);
2. Тип кабеля;
3. Количество и тип волокон в кабеле (от 2 до 288 волокон; типы Е, А, Н, С, D, МА, МВ, МD);
4. Количество элементов сердечника (от 01 до 18);
5. Распределение волокон в модулях и пучках;
6. Обозначение и количество электрических жил в кабеле (от Э1 до Э8);
7. Длительно\_допустимая растягивающая нагрузка кабеля в кН;
8. Исполнение кабеля (НГ, LS, HF, FR, Д).

#### **Типы волокон:**

Е – одномодовое с несмещенной дисперсией («стандартное»)

А – одномодовое с уменьшенными потерями в диапазоне длин волн 1383–1480 нм пика поглощения гидроксильных групп (ОН).

Н – одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией

С – одномодовое с отрицательной смещенной ненулевой дисперсией

D – одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией и с нормированной хроматической дисперсией в диапазоне длин волн 1460–1625 нм

МА – многомодовоеградиентное с диаметром сердцевины 50 мкм

МВ – многомодовоеградиентное с диаметром сердцевины 62,5 мкм

MD – многомодовоеградиентное с диаметром сердцевины 100 мкм

#### **Виды исполнения кабеля:**

НГ – не распространяющее горение;

LS – с низким дымо\_ и газовыделением;

HF – с пониженной коррозионной активностью продуктов дымо\_ и газовыделения;

FR – огнестойкое;

Д – дугостойкое (стойкие к медленной электрокоррозии).

### 3. Общие положения теории надежности и особенности ее применения для анализа распределенных сетей.

#### 3.1. Обзор элементной и технологической основы пассивных оптических сетей

Технология пассивных оптических сетей (PON) предусматривает построение сети широкополосного доступа при минимальных капитальных затратах. Такое решение предполагает создание разветвленной сети (рис.1) без активных компонентов – на пассивных оптических разветвителях (сплиттерах). Информация для всех пользователей передается одновременно с временным разделением каналов от оптического линейного терминала (OLT) до абонентских терминалов (ONT/ONU), в большинстве случаев, расположенных на территории абонента (квартире, доме, офисе). Передача и прием в обоих направлениях производится, как правило, по одному ОВ, но на разных длинах волн. Оптическая мощность с выхода OLT делится оптическими сплиттерами (равномерно или неравномерно) таким образом, чтобы уровень сигнала на входе всех ONT/ONU был примерно одинаков. В случае, когда одна из длин волн (например 1550 нм) выделяется для передачи телевизионного сигнала всем абонентам, на АТС устанавливается оптический мультиплексор WDM для объединения передаваемых сигналов на длинах волн 1490 нм (голос, данные) и 1550 нм (видео). В обратном направлении сигнал (голос, данные) передается на длине волны 1310 нм. Пассивные оптические сети согласно рекомендациям подразделяются на следующие типы:

- BPON – широкополосная PON (продолжение APON);
- GPON – Gigabit PON;
- EPON – Ethernet PON.

Основные характеристики стандартов PON приведены в таблице:

Характеристики стандартов PON	Стандарты PON		
	APON (BPON) по протоколу ATM	GPON по протоколу ATM и GEM	EPON, по протоколу Ethernet
Максимальная дальность	20	20	Класс 1: 10 Класс 2: 20
Диапазон общих потерь оптической мощности	Класс А: 5-20 Класс В: 10-25 Класс С: 15-30	Класс А: 5-20 Класс В: 10-25 Класс С: 15-30	Класс 1: прямой/обратный поток 21/23 Класс 2: прямой/обратный поток 26/26
Количество абонентов	до 32	до 64	до 32

Диапазон длин волн, нм	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 нм Два волокна: 1260-1360 нм	Прямой поток: 1490 (1550) нм Обратный поток: 1310 нм
Прямой поток/обратный поток, скорости передачи, Мбит/с	155,52/155,52 622,08/155,52 622,08/622,08 1244,16/155,52 1244,16/622,08	1244,16/155,52 1244,16/662,08 1244,16/1244,16 2488,32/155,52 2488,32/622,08 2488,32/1244,16 2488,32/2488,32	1250/1250
Уровень ошибок (BER)	$10^{-10}$	$10^{-10}$	$10^{-12}$

Физическая среда распространения сигнала для различных модификаций PON остается практически неизменной.

При построении сети используются топологии «звезда», «шина» и «дерево».

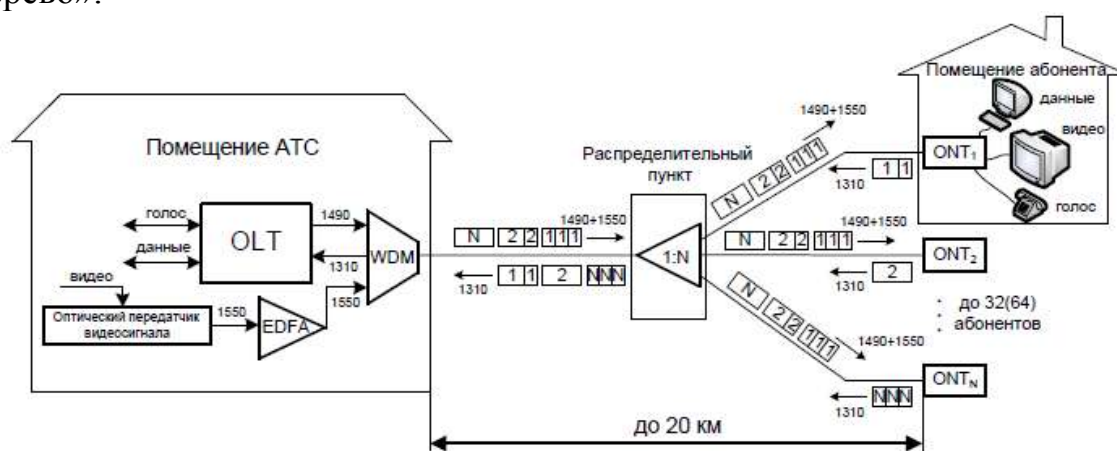


Рис.3.1. Структура и принцип действия PON

Топологию «звезда» (рис.3.2) целесообразно применять при плотном расположении абонентов в районе АТС. Данная топология характеризуется минимальным количеством оптических разветвителей и единственным местом их установки. Достоинства данной топологии: удобство в обслуживании, проведении эксплуатационных мероприятий и локализации места повреждения.

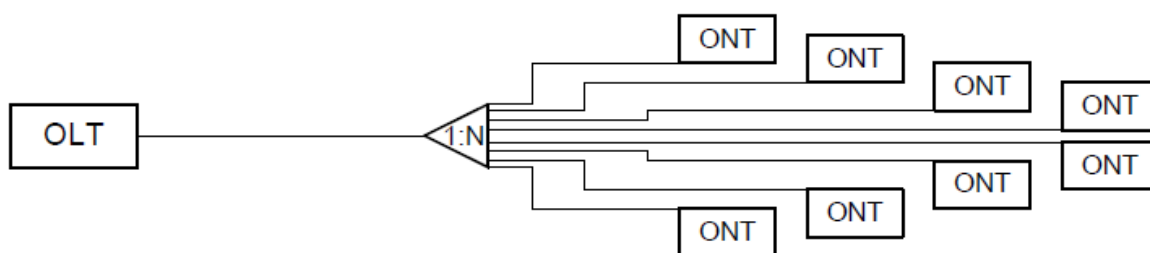


Рис.3. 2. Топология звезда.

Топология «шина» (рис.3.3) используется при расположении абонентов вдоль оптической магистрали. Основной недостаток этой топологии в большой разности выходных мощностей оптических сплиттеров. Данная топология требует тщательного расчета уровня оптического сигнала на этапе проектирования, для подбора неравномерных разветвителей (с неравномерным разделением мощности по выходным портам) таким образом, чтобы входная оптическая мощность на каждом оптическом приемнике соответствовала его чувствительности. Топология рекомендована для применения при линейном расположении пользователей вдоль магистрали и только при небольшом количестве каскадов, как правило это территории с невысокой плотностью населения (сельская местность, пригород)

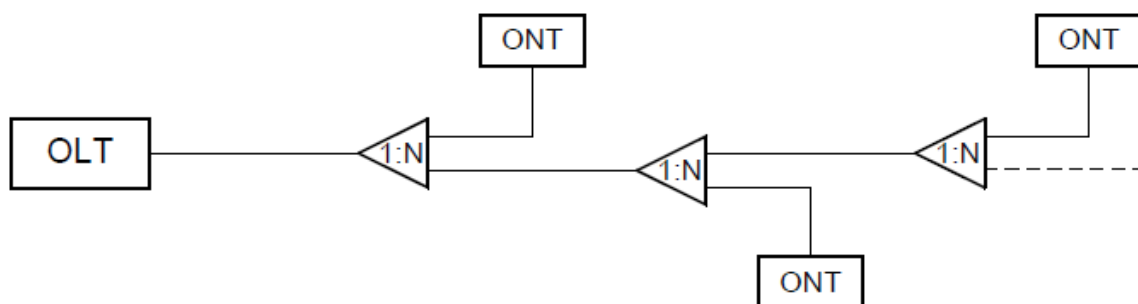


Рис.3.3. Топология шина

Топология «дерево» (рис.3.4) применяется при разнесенном расположении абонентов. Оптимальное распределение мощности между различными ветвями достигается подбором коэффициентов деления оптических сплиттеров. Древообразная топология гибкая с точки зрения потенциального развития и расширения абонентской базы.

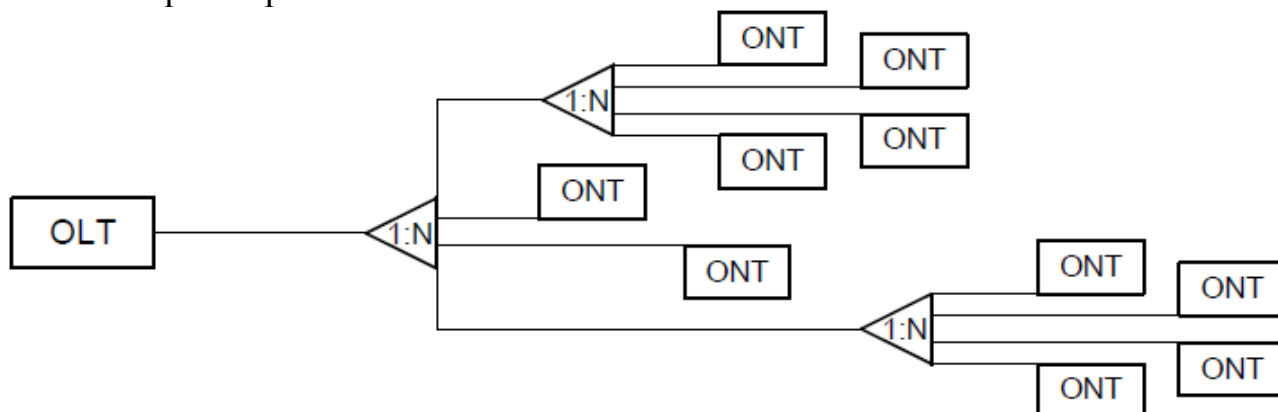


Рис. 3.4. Топология дерево

Каждая топология имеет свои достоинства и недостатки с точки зрения экономии оптического кабеля, удобства тестирования, эксплуатации,

обслуживания и возможности развития сети. Сравнительная характеристика всех трех топологий приведена в таблице:

Характеристики топологий	Виды топологий		
	Звезда	Шина	Дерево
Экономия волоконно-оптического кабеля	Низкая	Высокая	Высокая
Тестирование и обслуживание	Диагностика из центра. Простая локализация событий.	Сложное диагностирование событий	Сложное диагностирование событий
География расположения абонентов	Большой разброс/ произвольное расположение	Вдоль транспортных магистралей	Кластеры/ произвольное расположение
Возможности развития	Максимальное использование свободных портов	Ограничены вдоль магистрали	Необходим правильный расчет разветвителей
Уровень принимаемого сигнала	Почти одинаковый	Разный при однотипных разветвителях	Необходим точный расчет для выравнивания
Прочие достоинства/недостатки	Массовое подключение в районах с плотным размещением абонентов	Избыточные потери разветвителей при большом числе каскадов	Наибольшая гибкость при подключении всех желающих

Сеть по технологии PON состоит из трех основных участков:

- станционный участок – это активное оборудование OLT, WDM мультиплексор и оптический кросс высокой плотности, смонтированные на узле электросвязи в помещении АТС;
- линейный участок – это волоконно-оптический кабель (ВОК), шкафы, коробки, сплиттеры, коннекторы и соединители, используемые между станционным и абонентским участком;
- абонентский участок – это персональная абонентская разводка кабелем от элементов общих распределительных устройств до оптической розетки и активного оборудования ONT в квартире абонента; или до группового сетевого узла ONU, смонтированного в офисе корпоративного клиента.

OLT располагается в помещении АТС, район обслуживания которой определяет зону охвата сетью PON. Активное станционное оборудование PON, в качестве которого выступает OLT, связывает окончное оборудование абонентов с сетью Интернет и другими источниками услуг по передаче голоса, данных и видео (услуга TriplePlay).

Линейные порты PON оборудования OLT подключаются к оптическому кроссу высокой плотности (ODF) с помощью оптических шнуров (патч-кордов) или оконцованных микрокабелей (предтерминированных производителями в заводских условиях). Оптический кросс ODF предназначен для распределения ВОК по направлениям, перекрестировки (коммутации) и соединения со станционным ВОК через сплайс-пластины (кассеты и боксы для сварных соединений).

Линейный участок, для создания которого необходимо выполнить наиболее трудоемкие строительно-монтажные работы, требует наиболее тщательного подхода для оптимального его построения, так как именно линейный участок определяет итоговую топологию PON.

В сети PON связь осуществляется через пассивные оптические разветвители (сплиттеры), которые устанавливаются в оптических распределительных коробках (ОРК) и/или в оптических распределительных шкафах (ОРШ) (реже в механических оптических муфтах). На сети может быть использована как одноуровневая (однокаскадная) схема включения сплиттеров без последовательного их включения друг за другом (рис.3.5), так и многоуровневая схема с последовательным размещением (рис.3.6) сплиттеров.

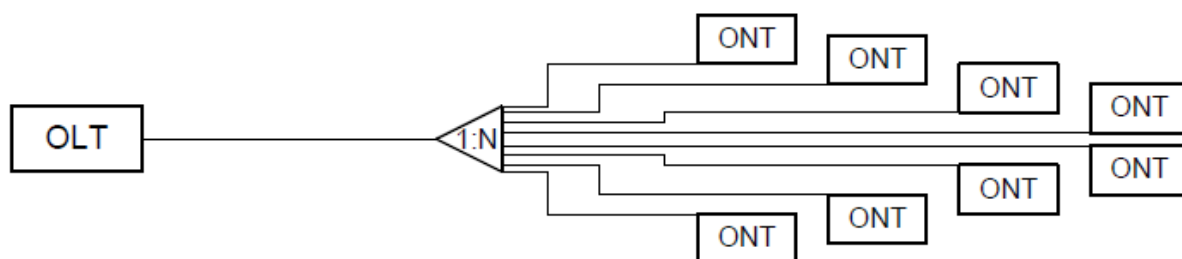


Рис.3.5. Одноуровневая схема включения сплиттеров

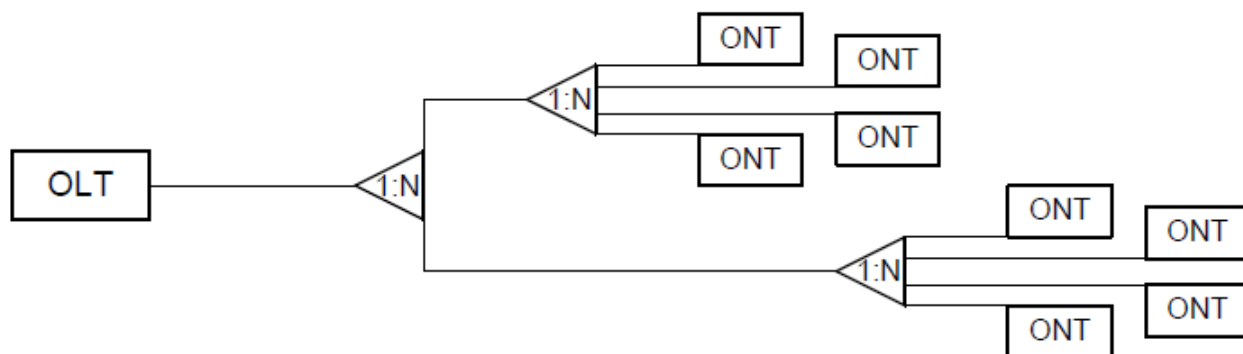


Рис.3.6. Многоуровневая схема включения сплиттеров

Количество уровней каскадирования сети зависит от суммарного вносимого затухания сплиттеров, коэффициента ветвления интерфейсов OLT предусмотренных выбранной технологий PON и требований к полосе пропускания для каждого абонента. Чем меньше количество уровней каскадирования сплиттеров, тем проще сеть абонентского доступа и, соответственно, больше возможностей быстрого устранения неисправностей, повышения качества связи за счет исключения возможных переходных искажений на многоступенчатой передаче сигналов. Использование в архитектуре сети многоуровневой схемы с последовательным размещением позволяет более гибко расположить распределительные устройства и ВОК, т. е. оптимально построить сеть PON.

Линейный участок можно подразделить на:

- магистральный участок - это ВОК, прокладываемый методом подвеса, в каналах кабельной канализации или в грунте от кросса ODF на АТС в направлении оптического распределительного шкафа (ОРШ);
- распределительный участок - это ВОК, прокладываемый от ОРШ до ОРК преимущественно внутри зданий по вертикальным стоякам.

Магистральный участок сети PON является одним из основных элементов всей пассивной оптической сети. Правильный выбор системы построения сети и ее топологии, определение условий и принципов организации доступа позволяют оптимизировать затраты на развитие сети в дальнейшем.

На участке сети PON от АТС до оптического распределительного шкафа, находящегося в зоне обслуживания АТС, производится магистральное распределение оптических волокон. Главная задача магистрального участка – подвести требуемое количество оптических волокон максимально близко к сконцентрированной группе абонентов наиболее оптимальным образом с учетом топологии и возможностей инфраструктуры (емкости кабельной канализации, возможности подвеса кабеля и т.д.). На абонентское окончание магистрали устанавливается ОРШ, ОРК или специальная механическая оптоволоконная муфта с облегченным доступом к оптическим волокнам. С целью минимизации оптического бюджета магистрального участка на сварках ОВ и для сокращения стоимости строительно-монтажных работ целесообразно использовать соответствующий модульный ВОК для канализации или прокладки в грунт с применением способов прокладки с минимальным количеством строительных длин.

Распределительный участок сети PON – это участок от окончания магистрального участка (оптического распределительного шкафа, оптических распределительных коробок, муфт) до этажных распределительных элементов сети в многоэтажных жилых зданиях. В районах с низкой плотностью населения распределительный участок может отсутствовать и подключение абонента осуществляется непосредственно от окончания магистрального участка (топология «шина»). Распределительный кабель подключенный к оконечному устройству магистрального участка прокладывается внутри зданий по существующим вертикальным стоякам или по специально создаваемым для этих целей коммуникациям (металлорукаве, поливинилхлоридной трубе) по лестничным клеткам, от подвального до чердачного помещения через все этажи здания.

На этапе проектирования распределительного участка необходимо оптимизировать проектное решение по трем критериям: оперативность подключения абонента к сети (при возникновении заявки), простота подключения и стоимость подключения.

Основным способом поэтажных горизонтальных ответвлений от межэтажного вертикального кабеля является схема с размещением на всех этажах здания оптической распределительной коробки.



При строительстве вертикального распределительного участка в здании используются как сварные соединения оптических волокон, так и механические соединители оптических волокон.

Абонентский участок оканчивается активным оборудованием (ONT, ONU), которое является неотъемлемым элементом технологии PON и находится под управлением оператора. Граница ответственности оператора проходит по внутренним выходным интерфейсам устройства, либо по системе управления устройства, в случае, если устройство поддерживает функции раздельного доступа к пользовательским и операторским настройкам.

Пассивные оптические сети нашли применение в различных регионах России и имеют множество различных модификаций, что обусловлено характером территории и экономическими соображениями, однако все многообразие этих модификаций строится из ограниченного набора элементов. К основным элементам сети можно отнести:

- кабель проложенный в телефонной канализации;
- кабель проложенный методом подвеса;
- кабель проложенный в здании;
- кабель проложенный в грунт;
- муфта соединительная;
- муфта разветвительная;
- оптическое разъемное соединение;
- оптический патч-корд;
- оптический сплиттер;
- механический соединитель оптических волокон.

### **3.2. Понятие отказа в пассивных оптических сетях и их классификация.**

В теории надежности под понятием отказ понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Применительно к сетям широкополосного доступа в частности к пассивным оптическим сетям, отказом будет являться нарушение работоспособности услуг (сервисов) предоставляемых абонентам по средствам этой сети. На сегодняшний день количество этих услуг достаточно велико, это: доступ в интернет, телефонная связь, телевидение, видеоконференцсвязь и др. При этом требования, предъявляемые к линиям связи для обеспечения работоспособности различных услуг, могут быть отличными по своей структуре. При передаче данных, требования к возвратным потерям могут быть снижены, в тоже время для передачи телевизионного сигнала несоответствие этого параметра нормам приведет к сбою. Что делает задачу оценки пригодности линий связи для работы того или иного сервиса – индивидуальной, линия пригодная для качественного предоставления одной услуги может оказаться непригодной для качественного предоставления другой.

Требования предъявляемые к характеристикам физической среды распространения сигнала необходимым для обеспечения работоспособности услуги с заданным качеством, определяются производителями активного оборудования используемого для её предоставления, и в конечном счете сводятся к физическим параметрам. Для волоконно-оптических линий связи к этим параметрам относятся:

- дисперсия;
- общие потери линии;
- возвратные потери линии.

При проектировании пассивной оптической сети этот факт учитывается, однако в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов общие и возвратные потери линии могут изменяться и в конечном итоге выйти за пределы установленных для них норм, что приведет к полной или частичной потере работоспособности предоставляемых услуг - отказу. Возникновения отказов вызвано физическими и химическими процессами протекающими в материалах из которых изготовлены элементы сети, что обусловлено стремлением вещества или (системы) достичь состояния термодинамического равновесия. Всякая неравновесная замкнутая система стремится к состоянию равновесия, при этом система может не изменять своих рабочих характеристик так как переходы от неравновесных состояний к равновесным могут проходить при сохранении определенных параметров (температуры, энтропии, объема, давления). Для описания состояний системы используются термодинамические функции, минимальные значения которых определяют равновесное состояние системы.

По характеру возникновения отказы пассивной оптической сети можно классифицировать на внезапные и постепенные. Принципиальное отличие между которыми в скорости перехода системы в состояние отказа, при внезапном отказе переход системы в не работоспособное состояние происходит практически мгновенно. При постепенном отказе переход системы в не работоспособное состояние занимает существенное время, что позволяет предупредить наступление отказа, по средствам проведения надлежащих мероприятий. Внезапные отказы в большинстве случаев являются следствием вмешательства третьих лиц (повреждения при производстве работ, вандализм), либо природных и техногенных катаклизмов (пожар, землетрясение, ураган и т.д.), а постепенные отказы следствием износа и старения материалов.

Для определения основных причин приводящих к отказам пассивных оптических сетей, была проанализирована статистика отказов пассивных оптических сетей собранная эксплуатирующими организациями в различных регионах России. Проведенный анализ позволил определить основные причины приводящие к внезапным и постепенным отказам.

### **3.2.1 Постепенные отказы**

К основным причинам постепенных отказов можно отнести температуру, влажность, и внутреннее напряжение в оптическом волокне.

Под влиянием температуры и влажности увеличиваются общие потери и коэффициент обратного отражения, что приводит к увеличению числа ошибок при передаче информации. При увеличении числа ошибок до критических значений, ухудшается качество предоставляемых абоненту услуг. Большой вклад в исследование влияния температуры и влажности на надежность работы электротехнических и оптических элементов внес Н.Синнадурай, предложенное им эмпирическое уравнение выражает зависимость между временем наступления отказа, температурой и влажностью среды в которой находится исследуемая система:

$$t_1 / t_2 = e^{X(RH_1^2 - RH_2^2) + (E_A / k \times T_1 - E_A / k \times T_2)} \quad (3.1.)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  время работы до наступления отказа при температуре  $T_{1,2}$  (Кельвин) и относительной влажности  $RH_{1,2}$  соответственно;  $k$  – постоянная Больцмана (эВ/К);  $E_A$  – энергия активации;  $X$  – коэффициент влияния влажности.

Для вычисления энергии активации необходимо провести испытания при различных температурных режимах и неизменной влажности ( $RH_1 = RH_2$ ). В таком случае выражение (1) примет вид:

$$t_1 / t_2 = e^{(E_A / k \times T_1 - E_A / k \times T_2)}$$

выразив  $E_A$  получим:

$$E_A = \frac{k \times T_1 \times T_2 \times \ln(t_1 / t_2)}{T_2 - T_1}$$

Для вычисления коэффициента влияния температуры необходимо провести испытания при неизменной температуре и различной влажности ( $T_1 = T_2$ ). В таком случае выражение (1) примет вид:

$$t_1 / t_2 = e^{X(RH_1^2 - RH_2^2)}$$

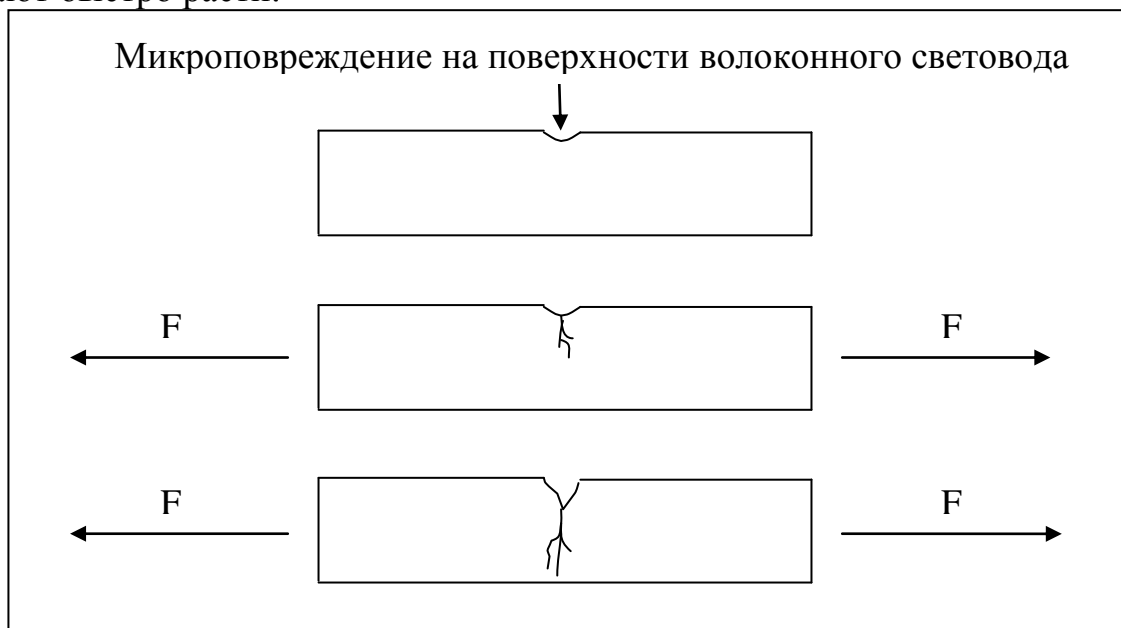
выразив  $X$  получим:

$$X = \frac{\ln(t_1 / t_2)}{RH_1^2 - RH_2^2}$$

Подставив в выражение (3.1.) значения энергии активации и коэффициента влияния влажности можно вычислить время работы элемента до наступления отказа при заданных значениях температуры и влажности.

Один из основных элементов пассивных оптических сетей – волоконно-оптический кабель. Наибольшее количество постепенных отказов происходящих в волоконно-оптическом кабеле вызвано повышенной растягивающей нагрузкой действующей на оптические волокна в течении длительного времени, что приводит к росту микротрещин и обрыву. При этом теоретическая механическая прочность бездефектного кварцевого световода достаточно высока [6], однако любое соприкосновение поверхности световода с твёрдым предметом или даже частицей пыли,

находящейся в воздухе приводит к появлению на поверхности стекла микрповреждений, которые при приложении растягивающей нагрузки  $F$  начинают быстро расти:



В результате практическая разрывная прочность волоконных световодов оказывается намного ниже теоретического предела прочности кварцевого стекла. Приблизить реальную механическую прочность волоконного световода (5-7 ГПа) к теоретической (25 ГПа), рассчитанной на основании различных оценок величины межатомной связи атомов кремния и кислорода, а также защитить световод от взаимодействия с окружающей средой возможно при помощи нанесения защитного покрытия. Его материал выбирается исходя из следующих соображений. С одной стороны, для защиты поверхности световода от реагентов и механических повреждений защитное покрытие должно быть достаточно жестким, чтобы выдерживать как продавливающие, так и истирающие нагрузки. В то же время покрытие должно быть достаточно мягким для того, чтобы предохранить световод от боковых сдавливающих нагрузок, являющихся причиной возникновения микроизгибов. Для удовлетворения этим условиям, защитное покрытие волоконного световода выполняется двухслойным. Первый амортизирующий слой выполняется из мягкого полимерного материала, а второй наружный слой из более жестких полимеров. Волоконный световод с полимерным защитным покрытием получил название "оптическое волокно".

Важным аспектом надежности оптических кабелей является величина характеризующая напряжение в оптическом волокне. Как правило, для оценки напряжения в оптическом волокне используется понятие относительное удлинение оптического волокна (%) под воздействием растягивающей нагрузки. Зная относительное удлинение волокна можно рассчитать наработку до разрушения, воспользовавшись для этого выражением:

$$T_0 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot x^{-18,5}$$

$T_0$  - наработка до разрушения,  $x$  – относительное удлинение оптического волокна (%).

При приложении к оптическому волокну растягивающего усилия, его основные оптические характеристики (общие потери, обратное рассеяние, дисперсия) практически не изменяются вплоть до его разрушения. Поэтому отследить механические напряжения в оптическом волокне стандартными измерительными средствами (OTDR) практически невозможно. Для этих целей разработаны специальные приборы позволяющие определить приложенную к оптическому волокну нагрузку, например, по величине бриллюеновского рассеяния.

Напряжение в оптическом волокне может возникать как в процессе производства оптических кабелей так и при их прокладке и эксплуатации. При производстве оптических кабелей большинство производителей выполняют выходной измерительный контроль волокон кабеля, при этом относительное удлинение оптического волокна должно быть не более 0,36%, так как при таких значениях удлинения волокон производитель может гарантировать срок службы кабеля 25 лет и более.

Повышенное напряжение оптических волокон в кабеле после прокладки может свидетельствовать о нарушениях технологии проектировании линии и являться следствием нарушения радиуса изгиба. Измерение напряжения волокон на этапе приемо-сдаточных испытаний позволит обнаружить области повышенного риска и избежать приема в эксплуатацию линии с несоответствующими параметрами.

Повышенное натяжение волокон в кабеле при его эксплуатации, является следствием влияния таких факторов как перепады температур, вмешательство третьих лиц при производстве работ, вандализм и др. Мониторинг натяжения волокон позволит своевременно обнаружить проблемный участок и принять необходимые меры для его восстановления.

Таким образом, измерение значения напряжения в оптическом волокне кабеля, позволит спрогнозировать наработку до разрушения и своевременно выявить области риска.

### **3.2.2. Внезапные отказы.**

Проведенный анализ показал, что внезапные отказы явились следствием механических воздействий на элементы сети. К основным причинам внезапных отказов, произошедших в наблюдаемой сети, можно отнести:

- производство работ третьими лицами;
- вандализм;
- природные катаклизмы;
- атаки грызунов;
- коммунальные аварии;
- возгорания.

Вклад в общее количество отказов каждым из приведенных факторов может меняться в зависимости от среды, в которой эксплуатируется пассивная оптическая сеть.

Наиболее частым повреждением сети, вызванным производством работ третьими лицами, является обрыв волокон оптического кабеля. Наибольшее количество повреждений вызванных данным фактором приходится на магистральный участок сети. В районах с большой плотностью населения и старыми коммуникациями удельное количество повреждений вызванных производством работ третьими лицами существенно больше, нежели в районах с небольшой плотностью населения и новыми коммуникациями.

Повреждениям вследствие вандализма наиболее подвержен распределительный участок. Характер повреждений вызванных вандализмом достаточно разнообразен, к наиболее часто встречающимся повреждениям можно отнести: обрыв волокон оптического кабеля, кража кабеля, порча оптических распределительных коробок, шкафов и их содержимого, обрыв абонентской разводки. Интенсивность случаев вандализма зависит от криминогенной обстановки в регионе, наличия конкурирующих операторов связи и других факторов.

В районах со сложными географическими условиями, в районах с высоким уровнем осадков, существенное количество отказов вызывается природным фактором. Наиболее подверженным влиянию природных катаклизмов магистральный участок, в особенности если кабель магистрального участка проложен методом подвеса. К характерным повреждениям, возникающим в результате воздействия данного фактора, можно отнести обрыв оптических волокон и превышение минимально допустимого радиуса изгиба кабеля.

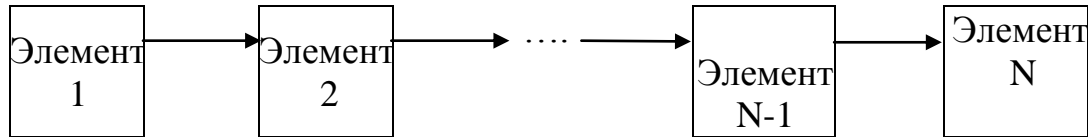
Атаки грызунов на элементы пассивной оптической сети происходят как на магистральном, так и на распределительном участке сети. При этом удельное количество повреждений элементов распределительного участка вызванных данным фактором в домах недавней постройки меньше, нежели в старом жилом фонде.

Интенсивность коммунальных аварий во многом определяется состоянием коммуникаций и плотностью населения в районе. Данный фактор наряду с возгораниями вносит наименьший вклад в общее количество повреждений по сравнению с вышерассмотренными факторами.

### **3.2.3. Методика оценки надежности пассивной оптической сети.**

Под понятием надежность понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

С точки зрения теории надежности, пассивные оптические сети относятся к восстанавливаемым системам. При дальнейшем исследовании показателей надежности пассивных оптических сетей целесообразно оперировать понятием линии, - физической среды распространения сигнала на участке от оптического линейного терминала (OLT) на станции до абонентского устройства (ONT). Структурную схему физического канала в пассивных оптических сетях можно представить в виде системы состоящей из последовательно соединенных элементов:



при этом элементы из которых состоит линия могут быть как восстанавливаемые так и не восстанавливаемые.

### 3.2.4. Показатели надежности невосстанавливаемых элементов сети.

Функционирование невосстанавливаемых объектов характеризуется преимущественно показателями безотказности. Пусть элемент, работоспособный в начальный момент времени  $t_0$ , работает до отказа в течение времени  $\Delta t$ , которое является случайной величиной.

Безотказность элемента характеризуется следующими показателями:

- Вероятность отказа  $q(t)$  - вероятность противоположного события, что отказ произойдет до момента  $t$ :

$$q(t) = P\{\theta < t\} = F(t)$$

Вероятность является функцией распределения случайной величины

$$q(t) = F(t)$$

- Вероятность безотказной работы  $P(t)$  - вероятность того, что в пределах заданной наработки  $t$  отказа не произойдет:

$$P(t) = 1 - q(t) = P\{\theta \geq t\}$$

Наработка  $t$  - это продолжительность или объем работы объекта.

- Плотность распределения наработки до отказа  $f(t)$  определяется как:

$$F(t) = dF(t) / dt = -dP(t) / dt$$

откуда:

$$q(t) = \int_0^t f(x) dx$$

- Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, в момент  $t$  при условии, что до этого момента отказ не произошел:

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = \frac{(dF(t) / dt)}{1 - F(t)} = (dP(t) / dt) / P(t)$$

Типичная зависимость интенсивности отказов приведена на рисунке 3.7. Эта зависимость имеет три характерные области: I - область начальных отказов, имеющих большую интенсивность, обусловленную, главным образом, скрытыми дефектами производственного характера (период

приработки аппаратуры, технологического прогона, опытной эксплуатации).  
 II - область чисто случайных отказов, обусловленных случайными причинами, в которой  $\lambda(t) = \text{const}$ , при условии неизменности условий эксплуатации. III - область отказов, обусловленных главным образом старением элементов объекта (износом).

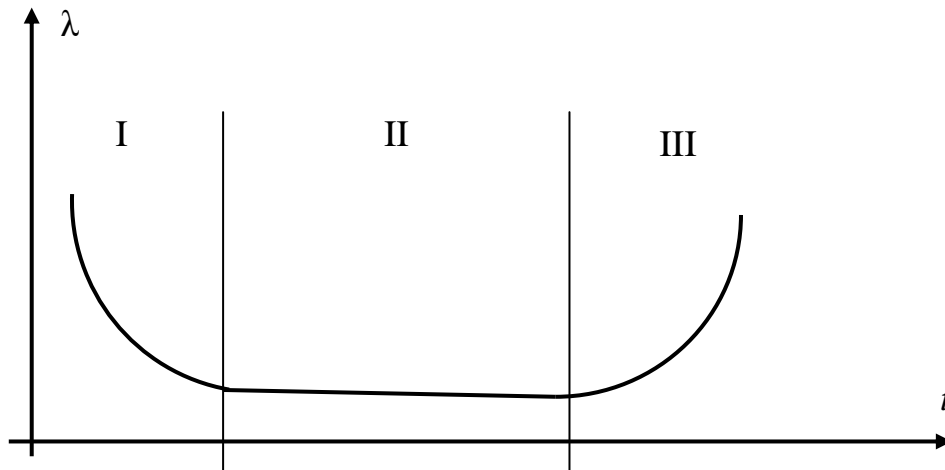


Рис.3.7. Типичная зависимость интенсивности отказов от времени.

Зависимость  $\lambda(t)$  может быть аппроксимирована формулой Вейбулла, описывающей наиболее распространенную модель отказов:

$$P(t) = \exp(-\lambda t^\delta)$$

где  $\lambda > 0$ ,  $t \geq 0$ ,  $\delta > 0$

С учетом приведенного выше выражения получим:

$$\lambda(t) = dP(t)/dt \cdot \frac{1}{P(t)} = \lambda \cdot \delta \cdot t^{\delta-1},$$

откуда видно, что  $\delta < 1$  - соответствует области I,

$$\lambda(t) = \lambda \cdot \delta / t^{1-\delta}$$

$\delta = 1$  - соответствует области II,

$$\lambda(t) = \lambda$$

$\delta > 1$  - соответствует области III,

$$\lambda(t) = \lambda \cdot \delta / t^{\delta-1}$$

- Средняя наработка до отказа  $T_0$  - математическое ожидание наработки объекта до первого отказа:

$$T_0 = M[\theta] = \int_0^\infty P(t) dt = \int_0^\infty t f(t) dt$$

Для области, соответствующей периоду нормальной эксплуатации (при  $\delta = 1$ ) показатели безотказности примут вид:

$$P(t) = \exp(-\lambda t)$$



$$q(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t)$$

$$T_0 = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda \cdot t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

### 3.2.5. Показатели надежности восстанавливаемых элементов сети

Функционирование восстанавливаемого элемента во времени - это последовательность интервалов  $\theta_i$  его работоспособности  $H_0$  (нормального функционирования), чередующихся с интервалами  $\xi_i$  - его неработоспособности  $H_1$  (простоя).

Состояние восстанавливаемых объектов описывается случайной функцией  $H(t)$ , представленной на рисунке 3.8.

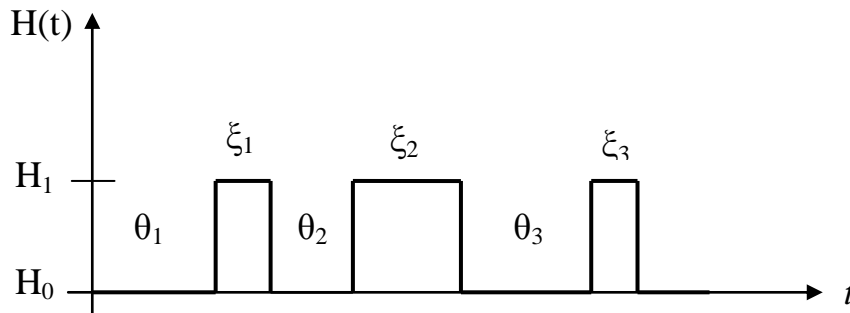


Рис.3.8. Случайная функция  $H(t)$ .

Восстанавливаемые объекты характеризуется показателями безотказности, ремонтпригодности и комплексными (комбинированными). Показатели безотказности определяются так же, как и для невосстанавливаемых объектов, за исключением  $T_0$ . Для восстанавливаемого объекта определяется средняя наработка на отказ как отношение суммарной наработки  $t$  к математическому ожиданию числа его отказов  $r(t)$  в течение этой наработки:

$$T_0 = \frac{t}{M[r(t)]}$$

Ремонтпригодность характеризуется вероятностью восстановления  $p_e(t)$  - вероятностью того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение  $\zeta$ , т.е.

$$p_e(t) = p\{\zeta < t\}$$

Наиболее распространен при использовании для расчетов экспоненциальный закон восстановления:

$$p_e(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

где  $\mu$  - интенсивность восстановления - условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени  $t$  при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Определяется также среднее время восстановления  $T_{\epsilon}$  как математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа:

$$T_{\epsilon} = M[\zeta] = 1/\mu$$

Комплексный показатель надежности характеризуется через коэффициент готовности  $K_z$ , - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается.

Определяется  $K_z$ , через показатели безотказности и ремонтпригодности:

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + T_{\epsilon}} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

Как правило, для высоконадежных объектов  $T_0 \gg T_{\epsilon}$ ,  $K_z \approx 1$ , поэтому при расчетах в качестве комплексного показателя надежности использовать коэффициент простоя или неготовности  $K_n$ -вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается:

$$K_n = 1 - K_z = 1 - \frac{T_{\epsilon}}{T_0 + T_{\epsilon}} = \frac{\lambda}{\mu + \lambda}$$

### 3.2.6. Расчет показателей надежности.

Для расчета показателей надежности линии пассивной оптической сети, состоящей из отдельных элементов, различают их последовательное или параллельное соединение. При последовательном соединении элементов отказ любого из них приводит к отказу всего объекта, а при параллельном их соединении объект работоспособен, пока работоспособен хотя бы один из элементов. В пассивных оптических сетях функционирование параллельно соединенных элементов невозможно по технологическим причинам. При последовательном соединении  $n$  элементов вероятность безотказной работы линии (в случае независимости отказов) равна:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\Lambda t}$$

где  $p_i(t)$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента;  $\lambda_i$ , - интенсивность отказов  $i$ -го элемента;  $\Lambda$  - интенсивность отказов объекта:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Одним из наиболее популярных способов повышения надежности системы является резервирование её элементов. По состоянию резервных элементов до момента включения их в работу различают:

- нагруженный (горячий) резерв — резервные элементы нагружены так же, как и основные;
- облегчённый (ждущий) резерв — резервные элементы нагружены меньше, чем основные;
- ненагруженный (холодный) резерв — резервные элементы не нагружены

Нагруженный и облегченный резерв по своей природе эквивалентен параллельному соединению элементов, что, как отмечалось ранее, невозможно в пассивных оптических сетях. В дальнейшем будет рассматриваться только ненагруженное (холодное) резервирование элементов физического канала пассивной оптической сети.

Ненагруженное резервирование не позволяет снизить вероятность возникновения отказа элемента линии. Единственное преимущество которое может давать ненагруженное резервирование это сокращение времени восстановления работоспособного состояния линии после отказа. Для линии не имеющей резервных элементов время восстановления работоспособности будет равно времени ремонта (или замены) отказавшего элемента, которое в свою очередь может меняться в широком диапазоне. При резервировании элементов (рис.3.9) физического канала времени восстановления линии после отказа будет равно времени подключения резервного элемента взамен отказавшего. Что в большинстве случаев позволяет существенно сократить время восстановления работоспособности линии и повысить его прогнозируемость.

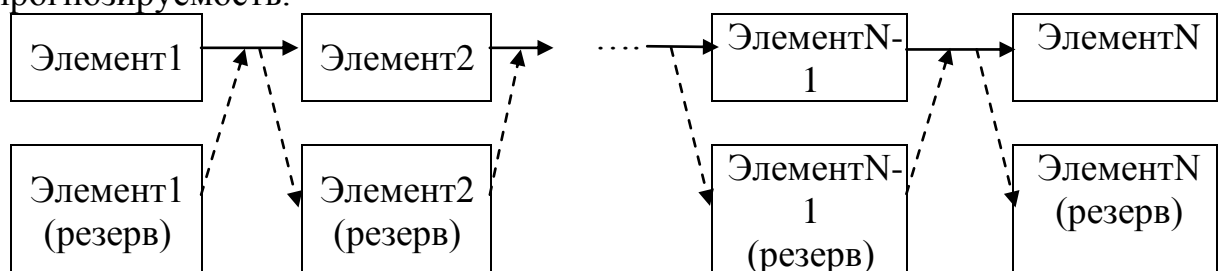


Рис.3.9. Линия с резервированием элементов.

Целесообразность резервирования зависит от множества различных факторов в связи с чем для оценки целесообразности резервирования того или иного элемента удобно использовать интегральный показатель например стоимость. Затраты оператора на устранение последствий отказа зарезервированного элемента  $S_{BO1}$ , можно записать:

$$S_{BO1} = S_{ПРЭ} + S_{СР} + S_{ОТК1},$$

где,  $S_{ПРЭ}$  — затраты на подключение резервного элемента взамен отказавшего,  $S_{СР}$  — затраты вызванные созданием резервного элемента (включают стоимость резервного элемента, стоимость работ по монтажу резервного элемента, стоимость работ по обслуживанию резервного элемента и т.д.);  $S_{ОТК1}$  — затраты понесенные оператором в результате не предоставления услуг вызванного отказом элемента;  $S_{ОТК1}$  представляет собой некоторую функцию  $f$  от времени неработоспособного состояния сети  $t_1$  вызванного отказом:

$$S_{OTK1} = f(t_1),$$

$f(t_1)$  - является комплексным показателем и может учитывать такие факторы как стоимость услуг не предоставленных абонентам вследствие отказа линии, изменение в лояльности абонентов, имидж организации и др. Очевидно что с увеличением  $t_1$ , увеличиваться будет и  $S_{OTK1}$ .

Затраты оператора на устранение последствий отказа не зарезервированного  $S_{BO2}$ , можно записать:

$$S_{BO2} = S_P + S_{OTK2}$$

где  $S_P$  – затраты оператора на восстановление линии после отказа (ремонт, либо замена отказавшего элемента);  $S_{OTK2}$  – затраты понесенные оператором в результате не предоставления услуг вызванного отказом элемента, которые аналогично случаю с резервированным элементом представляют собой функцию от времени неработоспособного состояния сети  $t_2$  вызванного отказом:

$$S_{OTK2} = f(t_2)$$

Резервирование элемента можно считать целесообразным если затраты на устранение последствий отказа зарезервированного элемента  $S_{BO1}$  не превышают затрат на устранение последствий отказа не зарезервированного элемента  $S_{BO2}$ . Как правило элементы резервирование которых целесообразно обладают одним или несколькими следующими признаками:

- длительное время ремонтно-восстановительных работ;
- высокая стоимость ремонта (или непригодность для ремонта) элемента;
- значительное количество зависимых абонентов;

В пассивных оптических сетях подобными признаками как правило обладают: магистральные линии, оптические сплиттеры, межсплиттерные соединения. При резервировании элементов следует разносить резервный и резервируемый элемент в пространстве, чтобы снизить вероятность их одновременного выхода из строя вследствие воздействия одного и того же фактора.

Литература:

1. Рекомендация ITU-T G.983.1 (01/2005) – Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON)
2. Рекомендация ITU-T G.984.2 (03/2003) – Пассивные волоконно-оптические сети споддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON): Спецификация зависимоот физической среды (PMD) уровня.

3. IEEE Std. 802.2TM 2008 – Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий. Технология доступа к спецификации физического уровня.
4. В.А. Каштанов, А.И. Медведев. Теория надежности сложных систем // М., Физматлит, 2010
5. Курс физической химии, 2 изд., М., 1969; Еремин Е. Н.
6. Абрамов А. А., Бубнов М. М., Вечканов Н. Н. и др. Температуростойкие волоконно-оптические модули // Труды ИОФАН. 1987 г. Т. 5. с. 72-82.
7. Семёнов С. Л. Физические процессы, определяющие прочность и долговечность волоконных световодов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 1997 г.
8. Оптический кабель, монтажное и измерительное оборудование для волоконно-оптической связи // Рекламный проспект фирмы "Телеком Комплект Сервис" 1999 г.

#### **4. Методы измерений и приборы, используемые в процессе строительства и эксплуатации.**

##### **4.1. Классификация измерений**

В процессе строительства и эксплуатации ВОЛС проводятся следующие виды измерений:

###### **измерения в процессе строительства:**

- ◆ входной контроль;
- ◆ оценка качества строительных работ с целью доведения параметров до установленных нормативов;
- ◆ приемно-сдаточные испытания.

###### **измерения в процессе эксплуатации:**

- ◆ профилактические измерения;
- ◆ аварийные измерения;
- ◆ входной контроль;
- ◆ контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ
- ◆ непрерывный мониторинг с помощью встроенного в ВОСП контрольно-измерительного оборудования.

**Входной контроль** производится перед проведением строительных и ремонтных работ, связанных с заменой кабеля и прочих компонентов ВОЛС. В ходе этих измерений контролируется качество строительных длин кабеля и других компонентов. При входном контроле с помощью оптического тестера (мультиметра) измеряют вносимое затухание всех ОВ и по известной строительной длине рассчитывают коэффициенты затухания, измеряют с помощью рефлектометра потери в контрольных сварках ОВ между собой. Для паспортизации строительной длины используют результаты измерений вносимого затухания и регистрируют рефлектограммы всех ОВ строительной длины с двух сторон.

**Оценка качества строительных работ контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ** включают измерения с помощью оптического тестера (мультиметра) вносимого затухания всех ОВ на смонтированных или отремонтированных участках, двухсторонние измерения с помощью оптического рефлектометра потерь в смонтированных соединениях ОВ и ремонтных кабельных вставках. Для паспортизации построенного или отремонтированного кабельного участка используют результаты измерений вносимого затухания и регистрируют рефлектограммы всех ОВ кабельного участка с двух сторон.

**Приемно-сдаточные испытания и профилактические измерения** включают те же измерения и предполагают паспортизацию построенного кабельного участка или внесение в существующий паспорт результатов профилактических измерений.

**Аварийные измерения** проводятся для определения характера повреждения и расстояния до него. Для аварийных измерений обычно используется оптический рефлектометр, которым проводят двухсторонние измерения. Иногда могут использоваться другие методы, например, использующие мостовые или трассопоисковые приборы для определения расстояния до обрыва или понижения сопротивления изоляции в проводниках дистанционного питания, металлических влагозащитных оболочках, бронепокровах и т.п.

Для определения параметров ВОСП проводят различные измерения в проходящем и рассеянном свете. В проходящем свете проводятся измерения следующих величин:

- мощности и спектрального состава оптического излучения источников;
- параметров фотоприемных устройств;
- энергетического запаса на регенерационном участке;
- вносимого затухания на кабельном участке;
- среднего коэффициента затухания;
- коэффициента ошибок;
- параметров формы оптических импульсов.

Для измерения параметров компонентов ВОЛС и параметров ВОЛС в целом нужны следующие оптические средства измерения:

- Измерители оптической мощности,
- Измерительные источники излучения,
- Анализаторы оптического спектра,
- Оптические аттенюаторы,
- и электрические приборы:
- широкополосный осциллограф,
- измеритель коэффициента ошибок или сетевой анализатор трафика.

#### **4.2. Измерители мощности оптического излучения.**

Мощность оптического излучения  $P$  может измеряться в единицах мощности (Вт) или в логарифмических единицах  $p$  (дБм) по отношению к мощности 1 мВт. Для измерения мощности излучения используют

специальные приборы - измерители оптической мощности или оптические ваттметры, которые могут использоваться отдельно или входить в состав комплектов оптического тестера или в состав мультиметров.

Измерители оптической мощности используются для определения мгновенных, средних и максимальных значений мощности на выходах излучателя или в различных точках волоконно-оптического линейного тракта (ВОЛТ).

Измеритель оптической мощности (рис. 4.1) состоит из следующих функциональных узлов:

- входного оптического разъема (ОР) или ОР с аттенуатором (АТТ);
- фотоприемника (ФП), который преобразует мощность оптического излучения в электрический сигнал (обычно фототок);
- усилителя фототока (УФТ), на выходе которого с помощью осциллографа можно наблюдать сигнал, пропорциональный мгновенному значению мощности;
- аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
- микроконтроллера (МК);
- устройства отображения (УО).

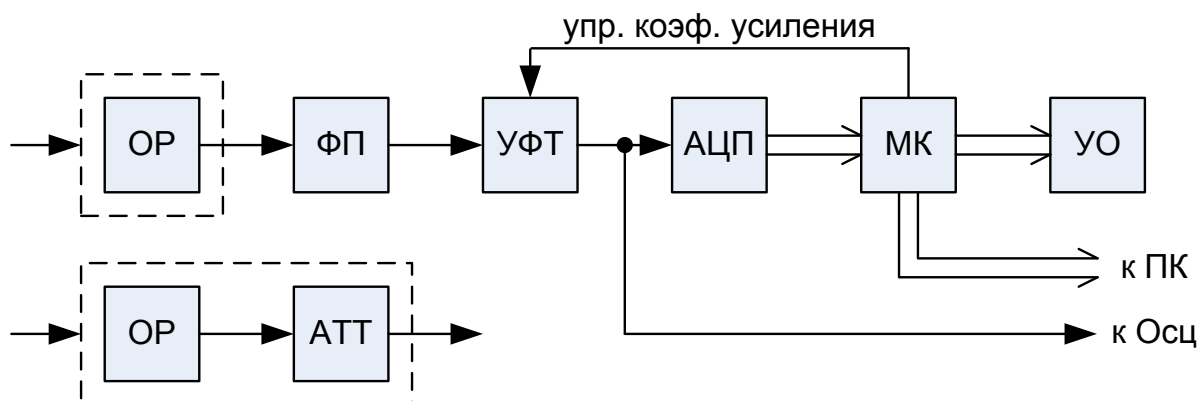


Рис. 4.1. Структурная схема измерителя оптической мощности.

Программное обеспечение МК позволяет проводить обработку цифрового сигнала с выхода АЦП, выполняя следующие функции:

- автоматическое управление коэффициентом усиления УФТ,
- вычисление среднего значения сигнала,
- определение максимального и минимального значений,
- логарифмирование,
- вывод информации на УО и персональный компьютер (ПК).

Существует большое разнообразие фотоприемников, например фотоэлементы, фотоумножители (квантовые приемники с внешним фотоэффектом), фотодиоды, фототриоды, фототиристоры (квантовые приемники с внутренним фотоэффектом), термоэлектрические, болометрические (тепловые приемники). В качестве ФП чаще всего

применяют *p-i-n* фотодиоды (ФД). К ФД для измерителей оптической мощности предъявляется ряд требований.

ФД должен иметь минимальную фоточувствительную площадку, но достаточную для регистрации всего потока излучения, выходящего из источника излучения или ОВ.

Чувствительность ФД должна быть однородна по площади, а характеристика преобразования - линейной во всем диапазоне измеряемых мощностей. Чувствительность должна мало зависеть от температуры.

ФД должен обладать малым уровнем шума, низким порогом реагирования. Для этого он должен иметь малый уровень темнового тока, который возрастает с увеличением площади фоточувствительной площадки.

Наилучшими параметрами для измерителей мощности обладают ФД *p-i-n* структуры. Для длин волн до  $\lambda = 1$  мкм обычно используют кремниевые ФД, для длин волн от 1 мкм до 1.65 мкм используют ФД на основе германия или на основе арсенида галлия, легированного индием. Наилучшими параметрами: высокой линейностью, температурной стабильностью, широким динамическим диапазоном по линейности и по шумам (малый темновой ток) - обладают кремниевые *p-i-n* фотодиоды.

Измерители оптической мощности в ВОСП работают в широком динамическом диапазоне уровней от -85 дБм до 20 дБм. Их разрешающая способность обычно составляет 0.1 или 0.01 дБ, а погрешность измерения от 0.1 до 0.5 дБ. На нижнем пределе измерения погрешность измерения определяется шумами ФД и УФТ, а на верхнем пределе приходится бороться с перегрузкой ФД и УФТ. Эти требования не всегда удается сочетать в одном приборе. Поэтому существует широкая номенклатура измерителей мощности, ориентированных на измерения в определенном диапазоне мощностей. При уровнях входных мощностей более 3-10 дБм перед входом ФД устанавливают АТТ (рис.4.1).

Чувствительность ФД обычно возрастает с увеличением длины волны. Измерение мощности излучения с заданной погрешностью возможно только на определенных длинах волн калибровки. Длину волны надо знать или уметь определять до измерения мощности. Обычно измерители оптической мощности имеют переключаемый вручную набор длин волн, на которых они откалиброваны.

В качестве примера приведем параметры измерителя мощности серии Топаз 3200 (рис.4.2а). Изготовитель НПК «СвязьСервис» СПб. Длины волн калибровки 850, 1310, 1490, 1550 и 1625 нм, разрешающая способность 0.1 дБ, погрешность 0.4 дБ, диапазон измеряемых уровней оптической мощности -60 - +6 дБм (для модели 3210) и -40 - +20 дБм (для модели 3220).





Рис.4.2. Внешний вид измерителей мощности

Более совершенным изделием того же производителя является измеритель мощности серии Топаз-7200-А (рис.4.2б). Помимо указанных длин волн калибровки для серии Топаз 3200 он

позволяет устанавливать любые длины волн калибровки в диапазонах 800-900 и 1210-1650 нм с шагом 5 нм. Разрешающая способность 0.01 дБ, погрешность 0.3 дБ, диапазон измеряемых уровней оптической мощности -85 - +6 дБм (для модели 7210-А) и -60 - +20 дБм (для модели 7220-А). При использовании специального источника оптического излучения может измерять затухание одновременно на 3-х длинах волн в реальном масштабе времени.

Существуют также измерители - анализаторы оптической мощности с набором оптических фильтров, которые позволяют определять мощности в некотором спектральном диапазоне, используемом для систем связи CWDM (рис.4.3а) или DWDM (рис.4.3б).



Рис.4.3. Измерители – анализаторы оптической мощности для длин волн систем CWDM (а) и DWDM (б).

Измерители оптической мощности в сочетании с другими приборами могут использоваться для определения параметров ФПУ ВОСП:

- чувствительности ФПУ  $p_{\text{фмин}}$ ,
  - уровня перегрузки ФПУ  $p_{\text{фмакс}}$ ,
  - динамического диапазона ФПУ  $D_{\text{ф}}$
- и параметров регенерационного участка ВОСП:
- вносимого затухания  $a_{\text{вн}}$ ,
  - энергетического запаса  $\mathcal{E}_{\text{зап}}$ .

#### 4.3. Измерительные источники излучения.

Измерительные источники излучения предназначены для генерации высокостабильного излучения с известным спектром и стабильной мощностью. Совместно с измерителями мощности они используются для измерения затухания в отдельных оптических компонентах (разъемах, аттенуаторах, разветвителях и других), а также затухания на отдельных участках ВОЛТ.

Структурная схема стабилизированного по средней мощности одноканального лазерного источника показана на рис. 4.4. Она включает генератор модулирующего напряжения (ГМН), усилитель тока накачки (УТН), ЛД, встроенный ФД, УФТ и выходной оптический разъем (ОР). ГМН обычно формирует прямоугольное напряжение со скважностью 2. Выбором частоты можно кодировать значение длины волны ЛД, для того чтобы измеритель мощности того же производителя автоматически выбрал длину волны калибровки. Обычно в источнике предусматривается также и режим стабилизации немодулированного излучения.

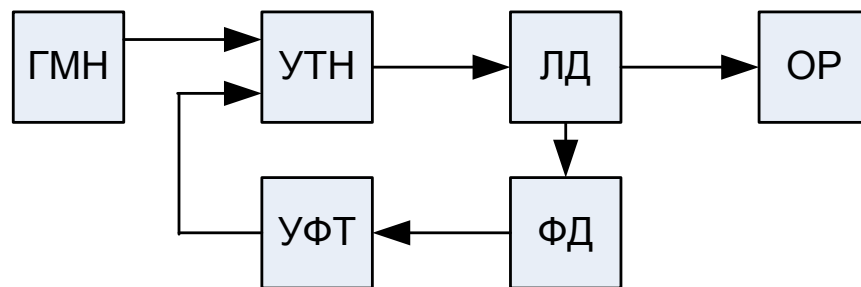


Рис.4.4. Структурная схема стабилизированного измерительного источника излучения

На рис.4.5а показан измерительный источник излучения серии Топаз 3100 на две длины волны 1310 и 1550 нм, которые подаются на выход поочередно, источники не модулированы, выходной уровень не менее -4 дБм, ширина спектра 5 нм, нестабильность за 8 часов не более 0.25 дБ.

На рис.4.5б показан измерительный источник излучения серии Топаз 3100 на три длины волны из перечня 850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625 и 1650 нм, которые подаются на выход поочередно. Источники могут быть идентифицированы измерителем мощности серии Топаз 7200, т.к излучение одного источника не модулировано, двух других модулировано частотами

270 и 2000 Гц. Выходной уровень излучения не менее -4 дБм, ширина спектра 5 нм, нестабильность за 8 часов не более 0.25 дБ.

#### 4.4. Оптические тестеры

Функции измерителя мощности и измерительного источника излучения объединяют в одном корпусе, практически без увеличения габаритов и массы. В качестве примера можно привести тестер серии Топаз-7300-А (рис.4.6а), который полностью заменяет измерительный источник серии Топаз-7100-А и измеритель мощности серии Топаз-7200-А.

Дальнейшее расширение функций оптического тестера реализовано в серии Топаз-7300-АL. Помимо всех функций, которые имеет Топаз-7300-А, он позволяет определять длину линии или расстояние до ее обрыва в диапазоне от 2-х м до 32 км, а также величину возвратных потерь в диапазоне от 10 до 50 дБ.

В автоматическом режиме Топаз-7300-АL при подключении к ВОЛТ с двух концов позволяет провести двухсторонние измерения на 3-х длинах волн вносимого затухания, возвратных потерь и длины линии за 20 с и сохранить их в памяти тестера.



Рис.4.5. Внешний вид измерительных источников излучения



Рис.4.6. Внешний вид оптических тестеров с расширенными возможностями

#### 4.5. Анализаторы оптического спектра.

Для измерений спектров излучения источников применяют оптические анализаторы спектра. В сочетании источниками излучения они также могут использоваться для измерения спектральных характеристик оптических фильтров, мультиплексоров WDM и других оптических компонентов.

Выпускается значительное количество анализаторов спектра, как в виде отдельных приборов, так и в составе универсальных измерительных платформ.

К основным параметрам анализатора спектра относятся:

- диапазон анализируемых длин волн,
- разрешающая способность по длине волны,
- погрешность измерения длины волны,
- диапазон уровней измеряемой оптической мощности,
- погрешность измерения уровня мощности излучения.
- сервисные возможности по обработке спектрограмм в анализаторе и компьютере.

Внешний вид одного из лучших анализаторов спектра, разработанного и изготовленного компанией Yokogawa AQ 6370, представлен на рис.4.7. Его основные технические параметры приведены в таблице 4.1



Рис.4.7. Внешний вид оптического анализатора спектра YokogawaAQ 6370

Табл. 4.1. Основные технические параметры оптического анализатора спектра AQ6370.

Параметры анализатора спектра	Значение параметра
Диапазон анализируемых длин волн, нм	600 - 1700
Погрешность измерения длины волны, нм в диапазоне длин волн 1520-1580 нм 1580-1620 нм 1450-1520 нм Другие волны	$\pm 0.01$ $\pm 0.02$ $\pm 0.04$ $\pm 0.1$
Разрешающая способность по длине волны, нм	0.02
Диапазон измеряемой мощности, дБм в диапазоне длин волн 600-1700 нм	-90 - +20
Габариты, мм	426x221x459
Масса, кг	27

Приведем в качестве примеры результаты измерения с помощью анализатора спектра AQ 6370. На рис.4.8 показан спектр излучения одномодового источника излучения с длиной волны 1450 нм, который прошел через мультиплексор OADM (ввода вывода). Хорошо видно, что каналный фильтр имеет полосу пропускания 20 нм. По спектрограмме и по результатам ее анализа, приведенным на экране анализатора можно получить исчерпывающую информацию о нем. Средняя длина волны 1450.68 нм, ширина спектра излучения 2.4 нм.

На рис.4.9 показан спектр излучения многомодового ЛД с резонатором Фабри-Перо. Видно, что на уровне -20 дБм ЛД генерирует 9 мод. Средняя мощность составляет -2.28 дБм, ширина спектра 28.7 нм.

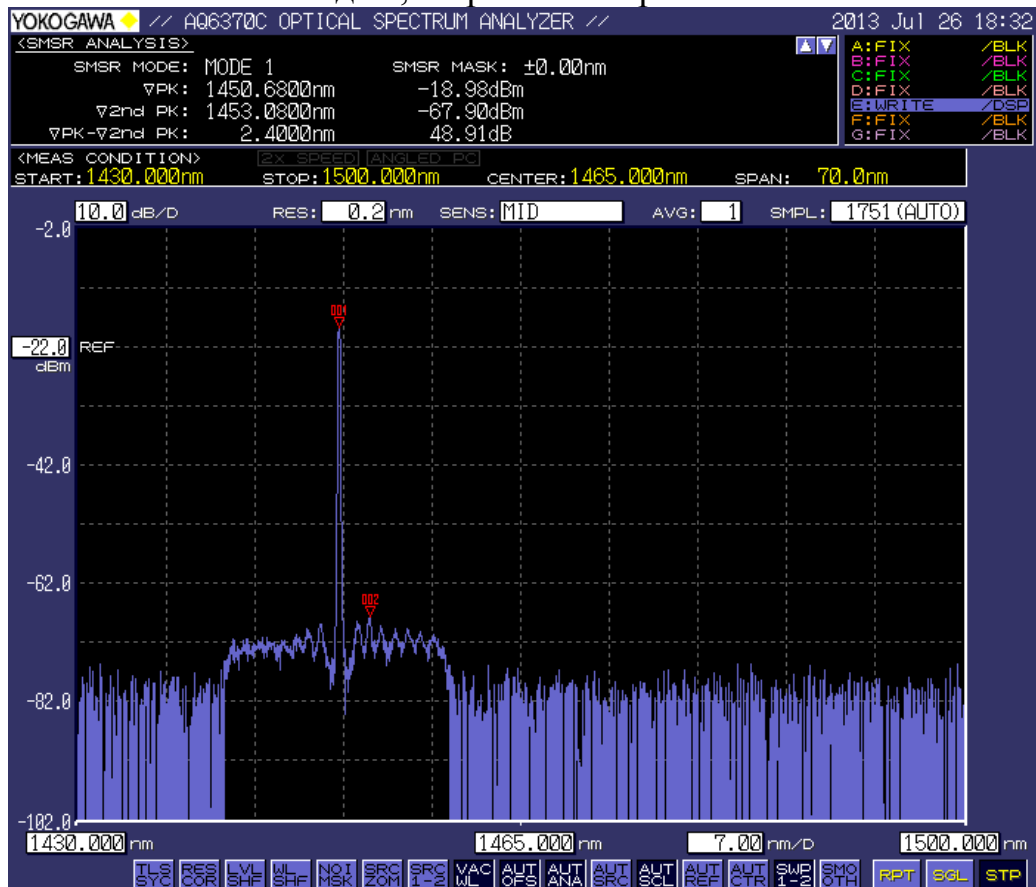


Рис.4.8. Спектр излучения одномодового источника 1450 нм после прохождения мультиплексора OADM (ввода вывода).

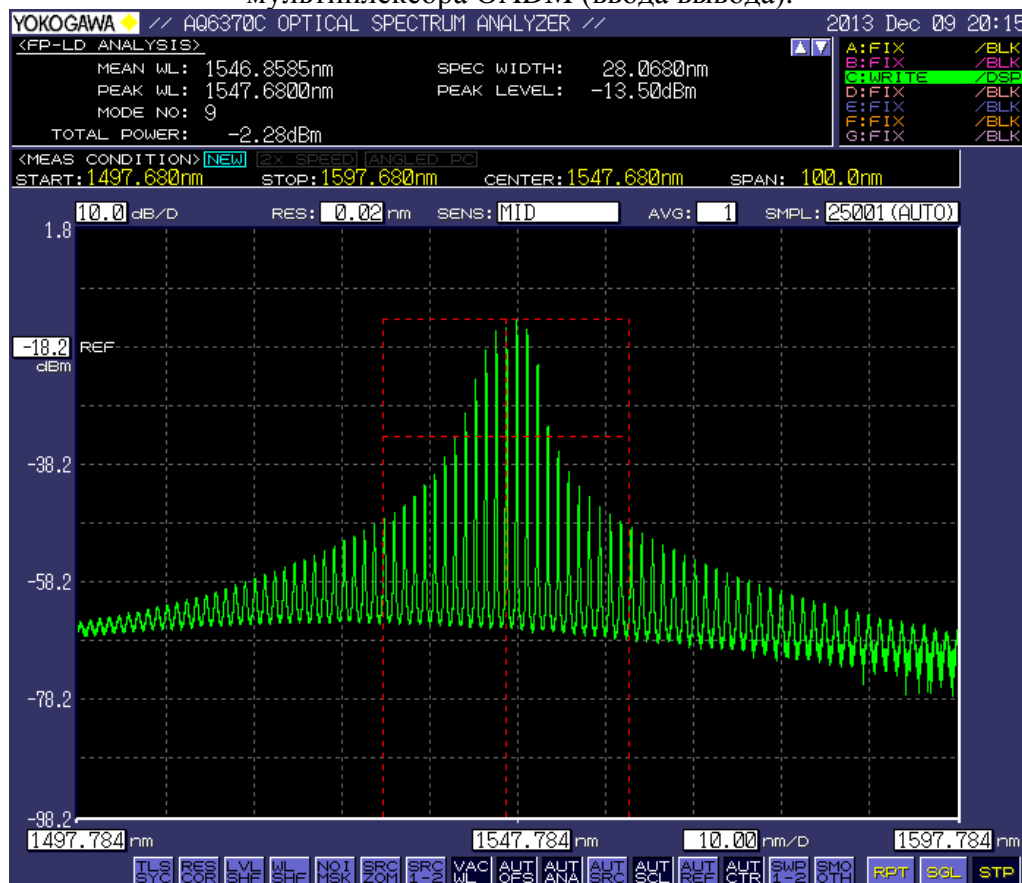


Рис.4.9. Спектр излучения многомодового ЛД Фабри-Перо 1550 нм.

#### 4.6. Оптические attenuаторы.

Для проведения многих видов измерений и испытаний необходимы устройства для ослабления оптического сигнала, т.е. введения дополнительных потерь в линию. Для этого используются attenuаторы с постоянным и регулируемым затуханием. На рынке представлены фиксированные оптические attenuаторы разных типов: розетка-розетка FF - типа, розетка-коннектор FM - типа, шнуры, оконцованные коннекторами. Находят применение attenuаторы с разъемами типов FC, SC, ST, LC с UPC и APC полировкой. Фиксированное вносимое затухание attenuаторов обычно составляет 5, 10, 15, 20 дБ. Для создания затухания в attenuаторах FF типа используют воздушный зазор, в FM – типа используют отрезок специального волокна.

В простейших регулируемых attenuаторах затухание можно изменять с помощью изменения воздушного зазора в пределах 0-25 дБ с точностью 0.5 дБ. Недостатком всех attenuаторов с воздушным зазором является низкий уровень возвратных потерь 14 дБ. Иногда это не допустимо.

В таблице 4.2 приведены параметры фиксированных attenuаторов FM типа, у которых возвратные потери составляют более 35 дБ.

Табл. 4.2. Характеристики FM-аттенюатора SC/SM/APC (1~20dB).

Уровень вносимых затуханий, дБ	1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/18/20
Рабочая длина волны, нм	1250 -1650



Вносимый вибрационный и температурный дрейф, дБ в диапазоне изменения затухания	
1-10 дБ	$\pm 0.5$ дБ
11-20 дБ	$\pm 1.5$ дБ
Свыше 20 дБ	$\pm 2.0$ дБ
Обратные потери	APC > 55 дБ
Максимальная мощность сигнала на выходе	250 мВт
Типичные вносимые потери	< 0.2 дБ
Рабочая температура, °C	-25 ~ +75
Температура хранения, °C	-40 ~ +85

Для плавной регулировки вносимого в линию затухания можно использовать аттенюатор оптический измерительный, например, АОИ-3 (рис. 4.10) с вносимым затуханием от 3 до 60 дБ, с дискретностью установки затухания 0.1 дБ и возвратными потерями не менее 35 дБ.

Рис. 4.10. Внешний вид регулируемого аттенюатора АОИ-3.



#### 4.7. Измерение параметров ФПУ.

Для определения чувствительности ФПУ кроме измерителя оптической мощности используют оптический аттенюатор (АТТ) с регулируемым затуханием и измеритель коэффициента ошибок (ИКО-1) первого рода. ИКО-1 обнаруживает ошибки при поэлементном сравнении переданного и принятого сигналов. Схема измерения чувствительности ФПУ приведена на рис. 4.11.

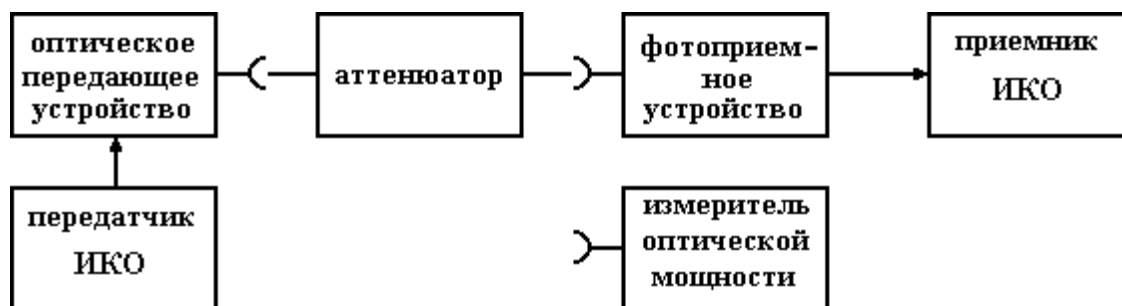


Рис. 4.11. Схема измерения параметров ФПУ

Предполагается, что штатное исследуемое ФПУ работает в комплекте со штатным передающим устройством ВОСП. На передающее устройство подается псевдослучайный сигнал от передатчика ИКО-1. С помощью оптического аттенюатора уменьшается уровень сигнала на входе ФПУ. При этом приемником ИКО-1 контролируется коэффициент ошибок  $k_{\text{ош}}$ , а измерителем оптической мощности определяется уровень средней мощности на входе ФПУ  $p_{\text{ф}}$ . За величину чувствительности ФПУ принимают уровень сигнала  $p_{\text{фмин}}$  на входе ФПУ, при котором  $k_{\text{ош}}$  соответствует заданному уровню, например  $10^{-9}$ .

Такая же процедура может использоваться для определения уровня перегрузки ФПУ  $p_{\text{фмакс}}$ . Однако при этом мы ищем не минимальный, а максимальный уровень входного сигнала, при котором коэффициент ошибок соответствует заданному уровню.

Динамический диапазон ФПУ определяется разностью полученных значений

$$D_{\text{ф}} = p_{\text{фмакс}} - p_{\text{фмин}}. \quad (4.1.)$$

#### 4.8. Измерение энергетического запаса ВОЛТ.

Под энергетическим запасом регенерационного участка ВОЛТ понимают величину возможного увеличения затухания участка, при котором коэффициент ошибок не превосходит допустимого значения.

Этот параметр может быть рассчитан по результатам измерений вносимого затухания  $a_{\text{вн}}$  на регенерационном участке ВОЛТ, уровня выходной мощности излучателя  $p_{\text{из}}$  и чувствительности ФПУ  $p_{\text{фмин}}$ :

$$\mathcal{E}_{\text{зап}} = p_{\text{из}} - a_{\text{вн}} - p_{\text{фмин}}. \quad (4.2.)$$

Можно также, зная результаты измерений уровня выходной мощности излучателя  $p_{\text{из}}$  и результаты измерения параметров ФПУ, рассчитать максимально и минимально допустимые вносимые затухания на регенерационном участке ВОЛТ

$$a_{\text{внмакс}} = p_{\text{из}} - p_{\text{фмин}} \quad a_{\text{внмин}} = p_{\text{из}} - p_{\text{фмакс}}. \quad (4.3.)$$

При экспериментальном измерении энергетического запаса можно отказаться от использования измерителя оптической мощности, если использовать измерительный АТТ, включенный в ВОЛТ перед ФПУ или на выходе оптического передающего устройства по схеме рис. 4.12. При измерении энергетического запаса величина затухания АТТ плавно увеличивается и при этом измеряется коэффициент ошибок. Величина энергетического запаса определяется затуханием аттенюатора, при котором значение коэффициента ошибок равно допустимой величине.

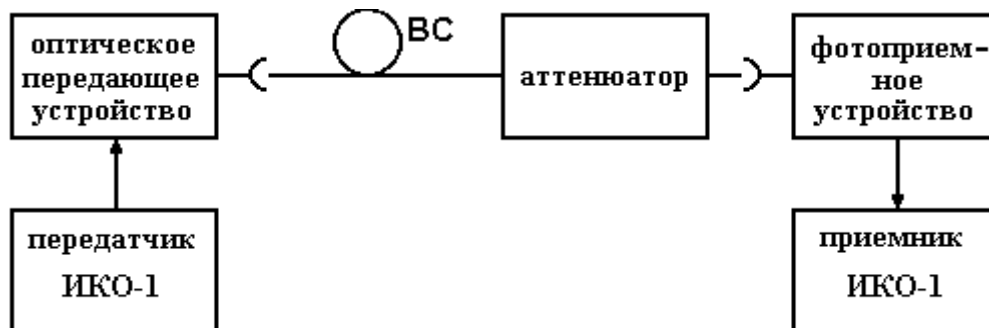


Рис. 4.12. Схема измерения энергетического запаса

#### 4.9. Измерение затухания ВОЛТ и коэффициента затухания.

Затухание  $a$  характеризует ослабление сигнала и измеряется обычно в логарифмических единицах: децибелах или неперах. При оптических



измерениях затухание измеряют в соответствии со следующими выражениями:

$$a(\text{дБ}) = 10 \cdot \lg \frac{P_0}{P_l} \quad a(\text{Hn}) = \ln \frac{P_0}{P_l} \quad (4.4)$$

где  $P_0$ ,  $P_l$  - мощности сигнала на входе и выходе ОВ, ВОЛТ или любого компонента ВОЛТ. Отметим, что соотношение между децибелами и неперами при оптических измерениях отличается от принятых в электрических измерениях:  $a(\text{дБ}) = 4.34 a(\text{Hn})$ .

Для измерения затухания вносимого ВОЛТ или другими компонентами ВОЛС используют оптические тестеры, в виде комплектов, содержащих отдельный измерительный источник излучения с одной или несколькими длинами волн и измеритель мощности откалиброванный на длинах волн источника. В качестве примера можно привести ранее описанные источники излучения Топаз-3100 или Топаз-7100-А и измерители мощности Топаз-3200 или Топаз-7200-А.

Измерения вносимого затухания могут проводиться на следующих объектах:

1. катушки с ОВ,
2. компоненты ВОСП (оптические разъемы, патч-корды, аттенюаторы, разветвители и другие),
3. ОВ в строительных длинах ОК,
4. кабельные участки проложенных ВОЛС,
5. между розетками кроссов, патч-панелей локальных сетей.

В первых трех случаях источник и приемник излучения, а также вход и выход измеряемого объекта находятся в одном месте. Это упрощает процедуру измерения.

Метод измерения затухания ВОЛТ (рис.4.13) основан на последовательном измерении уровня мощности оптического излучения на выходе измерительного источника излучения (результат калибровки измерения  $p_0$ ) и на выходе объекта измерения (результат измерения  $p_l$ ) и расчете по выражению

$$a = p_0 - p_l. \quad (4.5.)$$

Если длина линии  $L$  известна, то можно рассчитать средний коэффициент затухания

$$\alpha = a / L. \quad (4.6.)$$

Надо отметить, что источники излучения обладают временной нестабильностью, которая в первую очередь проявляется в изменениях уровня излучаемой мощности. Для уже рассмотренных излучателей нестабильность составляет 0.07 дБ за 15 мин и 0.25 дБ за 4 часа. Ясно, что если интервал между калибровкой и измерением минимален, то погрешность будет меньше. Для первых трех объектов полное время измерения можно

уменьшить до единиц мин. Тогда погрешность за счет нестабильности можно уменьшить до одной-двух сотых дБ.

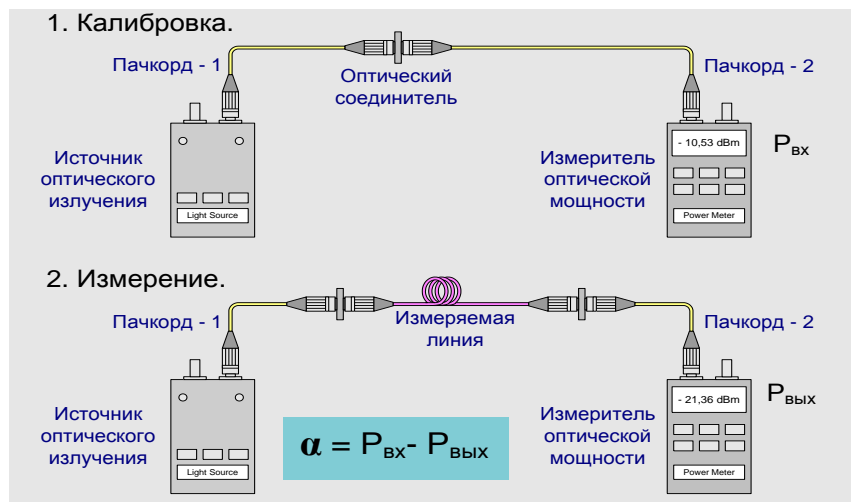


Рис.4.13. Схема измерения затухания вносимого ВОЛТ

Для четвертого и пятого объектов время между измерениями с помощью одного источника и приемника может быть большим: до десятков мин или даже нескольких часов. Самый большой интервал между калибровкой и измерением (несколько часов) возможен при измерениях на регенерационном участке магистральной сети, который может иметь протяженность 100 – 200 км.

Указанную погрешность от временной нестабильности источника можно значительно уменьшить, если использовать два комплекта оптического тестера или, что еще лучше, использовать два тестера, совмещающих функции излучения и измерения мощности. Можно использовать 2 тестера, например, ранее описанные оптические тестеры Топаз-7300-А или Топаз-7300-АL. В этих тестерах предусмотрена функция автоматической калибровки и измерения вносимого затухания в двух волокнах одновременно на 3-х длинах волн, отображения результатов на экране дисплея и передачи данных в компьютер. Время необходимое на это измерение не превышает 10 с. Использование таких тестеров повышает производительность измерений, уменьшает погрешность измерения, обусловленную временной нестабильностью источников излучения.



Рис.4.14. Внешний вид оптического телефона Топаз-2000

Рис.4.14. Внешний вид оптического телефона Топаз-2000

Проведение измерений на протяженной линии, как правило, осуществляют два человека. Для координации их действий используют устройства служебной связи (оптический телефон) по двум или по одному ОВ (рис.4.14),

которые своим динамическим диапазоном перекрывают всю длину участка регенерации на одномодовом ОВ.

Оптический телефон Топаз-2000 представляет собой цифровую систему передачи звукового сигнала по одному одномодовому ОВ на расстояние до 200 км при максимальном затухании 55 дБ. Для дуплексной связи используется одна длина волны (1310 или 1550 нм).

Некоторые оптические тестеры помимо измерения вносимого затухания могут выполнять также функцию оптического телефона.

#### **4.10. Измерение коэффициента ошибок в ВОСП.**

Одним из наиболее важных интегральных параметров ВОСП является коэффициент ошибок, который служит экспериментальной оценкой вероятности ошибки в линейном тракте ВОСП.

Основными причинами ошибок являются флуктуационные шумы ФПУ и его перегрузка входным оптическим сигналом. Шумы ФПУ, которые определяются его схемой, типом ФП и скоростью передачи данных в ВОСП, приводят к уменьшению отношения сигнала к шуму на выходе ФПУ и определяют максимально допустимое затухание в линейном тракте при данной мощности излучателя. Перегрузка ФПУ приводит к возникновению межсимвольных искажений и увеличению вероятности ошибки. Межсимвольные искажения определяют минимально допустимое затухание в линейном тракте при данной мощности излучателя.

Вероятность ошибок при равновероятной передаче «единиц» и «нулей» можно представить в виде

$$P_{ош} = 0.5 \cdot [P(0/1) + P(1/0)], \quad (4.7)$$

где  $P(0/1)$  - вероятность приема «0» при передаче «1» (вероятность пропуска «единицы»);  $P(1/0)$  - вероятность приема «1» при передаче «0» (вероятность приема ложной «единицы»).

Коэффициент ошибок определяется отношением числа ошибочных символов  $m$ , зафиксированных за интервал времени измерения, к общему числу принятых символов  $n$ :

$$k_{ош} = \frac{m}{n}. \quad (4.8)$$

В соответствии с международным стандартом на цифровые телефонные каналы связи в линии (Рекомендация *ITU-TG821*) протяженностью 2500 км допускается не более двух ошибок при передаче  $10^7$  бит информации. Это означает, что для каждых 10 км линии связи средняя вероятность ошибки должна поддерживаться на уровне  $0.8 \cdot 10^{-9}$ . В современных цифровых ВОСП максимальный коэффициент ошибок выбирается в пределах  $10^{-9} \div 10^{-12}$ .

Измерение коэффициента ошибок или контроль за его значениями необходимо при измерении параметров ФПУ и энергетического запаса регенерационного участка ВОЛС. Ранее рассмотрены методы измерения этих параметров, предусматривающие определение коэффициента ошибок в линейном тракте.

Измерение коэффициента ошибок в цифровых ВОСП осуществляется двумя методами:

- побитным сравнением единичных элементов принятого цифрового сигнала с единичными элементами посланного измерительного цифрового сигнала от генератора псевдослучайной последовательности (ПСП);
- выявлением нарушений алгоритма формирования кода в принятом цифровом сигнале.

Приборы, в которых ошибки обнаруживаются при поэлементном сравнении переданного и принятого сигналов (первый метод), являются измерителями коэффициента ошибок первого типа ИКО-1. Измерение коэффициента ошибки методом посимвольного сравнения с помощью ИКО-1 предполагает обязательный перерыв связи и проводится в процессе пуско-наладочных, ремонтных и регламентных работ.

Приборы, в которых ошибки выявляются при обнаружении нарушений алгоритма кода в принятом сигнале (второй метод), являются измерителями коэффициента ошибок второго типа ИКО-2, входят в состав штатной аппаратуры ЦСП и позволяют проводить измерения коэффициента ошибок без прерывания связи. Принцип работы такого прибора (ИКО-2) основан на определении числа импульсов, нарушающих структуру линейного кода. Число нарушений, подсчитанное относительно общего числа импульсов, прошедших линейный тракт, определяет коэффициент ошибки.

Время, необходимое для измерения малых значений коэффициентов ошибок  $k_{ош}$  может оказаться значительным. Требуемое время измерения  $k_{ош}$  определенной величины с помощью ИКО-1 при побитным сравнением элементов переданного и принятого сигналов с заданной доверительной вероятностью  $p_d$  и относительной погрешностью измерений  $\delta$  определяется выражением:

$$T_{изм} = \frac{k_d^2}{\delta^2 \cdot C \cdot k_{ош}}, \quad (4.9.)$$

где  $C$  - скорость передачи информации, бит/с; а значения  $k_d$  в зависимости от  $p_d$  приведены ниже в табл. 4.3.

Табл. 4.3. Данные для расчета времени измерения

$p_d$	0,8	0,9	0,95
$k_d$	1,282	1,643	1,960

Измерения с помощью ИКО-1 проводятся двумя способами: «по шлейфу» и «по направлению». При измерениях «по шлейфу» генератор испытательного сигнала и управляемый им анализатор кодовой последовательности находятся на одном конце тракта, а «шлейф» создается либо в регенераторе, либо соединением соответствующих волокон. В случае измерения «по направлению» генератор испытательного сигнала и анализатор находятся на различных концах тракта, при этом в анализаторе вырабатывается сигнал, аналогичный испытательному сигналу генератора и синхронный с входным сигналом.

#### 4.11. Измерение параметров формы оптических импульсов.

Параметры формы оптических импульсов на выходе излучателя в точке  $S$  и на входе ФПУ в точке  $R$  обычно измеряют с помощью глаз-диаграммы. Для контроля за формой импульса используют шаблоны, которые совмещают с глаз-диаграммой. Схема измерения параметров формы оптических импульсов по глаз-диаграмме на выходе ФПУ представлена на рис. 4.15, а пример глаз-диаграммы на рис. 12.8. Импульсы от тактового генератора (ТГ) с тактовой частотой ВОСП поступают на генератор псевдослучайной последовательности (ГПСП), управляющий источником излучения (ИИ). Оптические импульсы с помощью ФПУ преобразуются в напряжение, поступающее на вход  $Y$  широкополосного осциллографа (ОСЦ). На вход  $C$  синхронизации ОСЦ поступают импульсы от ТГ. Длительность развертки обычно выбирается равной двум периодам ТГ. При этом на экране одновременно можно наблюдать все возможные формы импульсов. Их количество определяется числом элементов в одном периоде ПСП, который выбирается в соответствии с используемой в ВОСП системой кодирования (и должен превышать наибольшее число подряд идущих единиц и нулей).

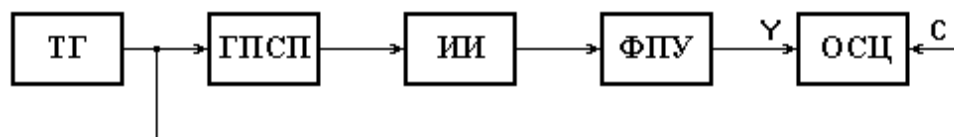


Рис. 4.15. Схема получения глаз-диаграммы

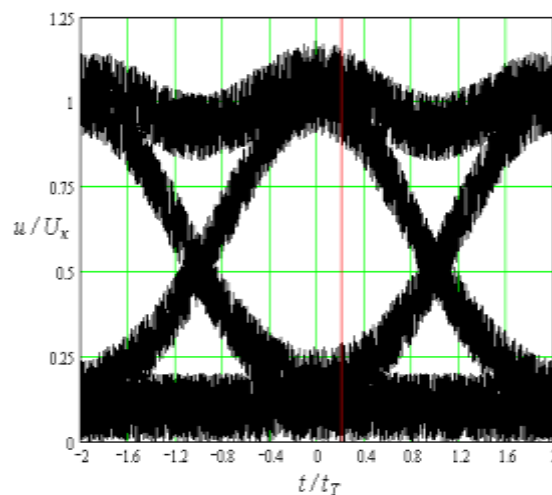


Рис. 4.16. Примерный вид глаз-диаграммы на экране широкополосного осциллографа

Анализ глаз-диаграммы позволяет определять значительное количество параметров формы импульсов:

для излучателя в точке  $S$ :

- длительность и форму импульса,
- длительности переднего и заднего фронтов,
- относительную ширину глаз диаграммы,
- коэффициент гашения.

для приемника в точке  $R$ :

- длительность и форму импульса,
- длительности переднего и заднего фронтов,
- относительную ширину глаз диаграммы.

Сопоставление результатов измерения по глаз-диаграмме в точках  $S$  и  $R$  позволяет оценить дисперсионные искажения в линейном тракте (уширение импульса).

#### 4.12. Измерения рассеянного в линейном тракте излучения.

##### Основы оптической рефлектометрии.

Наиболее универсальным и информативным методом измерений параметров ОВ, ОК и ВОЛТ является метод обратного рассеяния (МОР). Приборы, основанные на МОР, называются оптическими рефлектометрами (ОР). Впервые идею использования обратного рэлеевского рассеяния в кварцевых ОВ при их зондировании короткими оптическими импульсами для исследования ОВ предложили американские ученые Барноски и Персоник. Для импульсных ОР в зарубежной литературе принята аббревиатура *OTDR* (*OpticalTimeDomainReflectometer* - оптический рефлектометр во временной области).

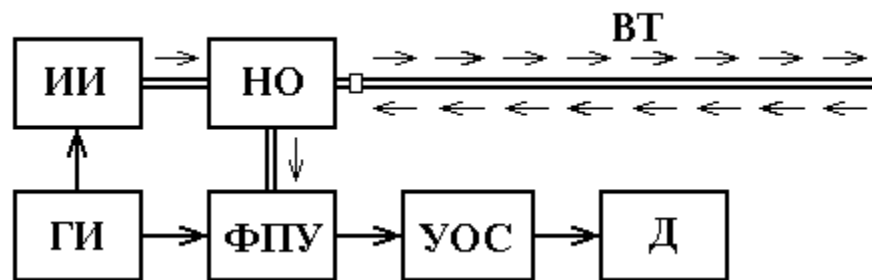


Рис. 4.17. Упрощенная структурная схема оптического рефлектометра

ИИ - источник излучения; НО - направленный ответвитель; ВОЛТ - исследуемый волоконный тракт; ГИ - генератор импульсов; ФПУ - фотоприемное устройство; УОС - устройство обработки сигнала; Д - дисплей

Упрощенная схема ОР представлена на рис. 4.17. Короткий оптический импульс мощного лазера через одно плечо направленного ответвителя (НО) поступает в исследуемое ОВ. Обратно на вход ОР приходят оптические импульсы, отраженные от локальных неоднородностей исследуемого ОВ. Их называют френелевскими отражениями. Через НО они поступают на вход ФПУ. В НО происходят потери при вводе излучения от ИИ в ВОЛТ и при выводе излучения из ВОЛТ на ФПУ. Коэффициент оптических потерь  $K_{оп}$  обычно меньше 0.25. Если в ОВ вводится мощность  $P_0$ , коэффициент отражения от неоднородности равен  $R$ , то мощность отраженного импульса  $P_r$ , приходящего на вход ОР с учетом коэффициента затухания ОВ  $\alpha$  и расстояния до неоднородности  $l$  составляет 
$$P_r = P_0 R K_{оп} 10^{-\frac{\alpha l}{5}}. \quad (4.10)$$

Причем длительность отраженных импульсов без учета дисперсии будет равна длительности зондирующего импульса  $t_u$ . Временной интервал  $t$  между зондирующим и отраженным импульсами определяется

эквивалентным показателем преломления  $n_1$  сердцевины ОВ и расстоянием  $l$  до неоднородности

$$t = \frac{2 \cdot l \cdot n_1}{c}. \quad (4.11)$$

Проходящий по ОВ зондирующий импульс рассеивается в любом сечении ОВ, а рассеянное излучение распространяется равномерно во все стороны. Это рассеяние называют рэлеевским и его невозможно устранить технологическими приемами при изготовлении ОВ. Это рассеяние является линейным, и доля рассеянного излучения (коэффициент рассеяния  $\alpha_s$ ) не зависит от мощности зондирующего импульса при обычно используемых мощностях излучения. Проходящий по ОВ оптический импульс длительностью  $t_u$  одновременно вызывает рассеяние с участка ОВ протяженностью

$$\Delta l = \frac{c \cdot t_u}{2n_1}, \quad (4.12)$$

где  $c$  - скорость света в вакууме.

Часть рассеянного излучения возвращается обратно ко входу ОР. Она определяется фактором обратного рассеяния  $G$ , который зависит от апертурных свойств ОВ. Например, для многомодовых ОВ (МОВ) и одномодовых ОВ (ООВ) со ступенчатым профилем показателя преломления фактор обратного рассеяния составляет

$$\text{МОВ: } G = \frac{NA^2}{4n_1^2}; \quad \text{ООВ: } G = \frac{3}{2} \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{n_1 w^2} \quad (4.13)$$

Для мощности излучения, рассеянного с участка  $\Delta l$ , расположенного на расстоянии  $l$  от ОР, и пришедшего ко входу ОР можно записать

$$P_s = P_0 K_{on} \alpha_s G \Delta l \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot l}{5}}. \quad (4.14)$$

Совокупность рассеянного и отраженного излучения из исследуемого ВОЛТ, приходящего на вход ОР, называют сигналом обратного рассеяния (СОР). СОР через второе плечо НО поступает на высокочувствительное фотоприемное устройство (ФПУ). После усиления в ФПУ, выделения СОР из шумов ФПУ и логарифмирования в устройстве обработки сигнала (УОС) преобразованный СОР как функция времени задержки (или расстояния) отображается в графической форме в виде рефлектограммы на экране дисплея (Д).

Принимая некоторое значение оптической мощности  $P_n$  за уровень 0 дБ, запишем выражения для уровней обратно рассеянного  $Y_s$  и отраженного  $Y_r$  сигналов в зависимости от расстояния  $l$  и временного интервала  $t$  между зондирующим сигналом и СОР

$$Y_s = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg K_{on} + 5 \lg (\alpha_s G \Delta l) - \alpha l = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg K_{on} + \\ + 5 \lg \frac{\alpha_s G \cdot c t_u}{2n_1} + 5 \lg \frac{t_u}{t_{u0}} - \alpha \frac{c t}{n_1};$$

$$Y_r = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg R - \alpha l = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg R - \alpha \frac{ct}{n_1}, \quad (4.15)$$

где  $t_{u0}$  - длительность зондирующего импульса, при которой нормируется относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ

$$Y_{s0} = 5 \lg \frac{\alpha_s G \cdot ct_{u0}}{2n_1}. \quad (4.16)$$

Из выражения (12.15) следует, что СОР возрастает с увеличением мощности  $P_0$  и длительности  $t_u$  зондирующего импульса, т.е. с увеличением его энергии. Кроме того, СОР возрастает с уменьшением оптических потерь

$$a_{on} = -5 \cdot \lg K_{on}$$

В табл. 4.4 приведены типичные значения относительного уровня СОР в ближней зоне ВОЛТ при длительности зондирующего импульса  $t_{u0} = 1$  нс.

Табл. 4.4. Относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ

Тип ОВ	Длина волны, мкм	$Y_{s0}$ , дБ
МОВ	0.85	-35
	1.3	-37.5
ООВ	1.31	-39.5
	1.55	-40.5

Типичная рефлектограмма СОР для ВОЛТ приведена на рис. 4.18. На ней можно выделить однородные участки 2 ВОЛТ (без неоднородностей) с постоянным коэффициентом затухания  $\alpha$ , на которых СОР после логарифмирования выглядит, как прямая линия, наклон которой определяет коэффициент затухания. Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала 1 вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ОВ. Как правило, он вводит ФПУ в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр ОР - мертвую зону, т.е. расстояние  $\Delta l_m$ , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания. Выброс сигнала с перепадом затухания 4 возникает при наличии в тракте разъемного соединителя, а также при наличии в волокне маленьких включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые могут быть рассчитаны по выражению:

$$a_{en} = -10 \cdot \lg R, \quad (4.17)$$

где  $R$  - коэффициент отражения.

Неразъемные соединения (сварные, клеевые и механические сростки волокон), в которых обычно отсутствуют отражения, отображаются на рефлектограмме ступенькой 3. Конец ВОЛТ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу<sup>1</sup> 5 и следующему за ним участку 6 с

<sup>1</sup> Коэффициент отражения для границы раздела кварц/воздух достигает значительной величины 4%. Однако, если поверхность неровная или загрязненная, коэффициент отражения может иметь значительно меньшую величину, и отражение от обрыва или заднего торца ВОЛТ не всегда можно обнаружить.



резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленных шумами ФПУ.

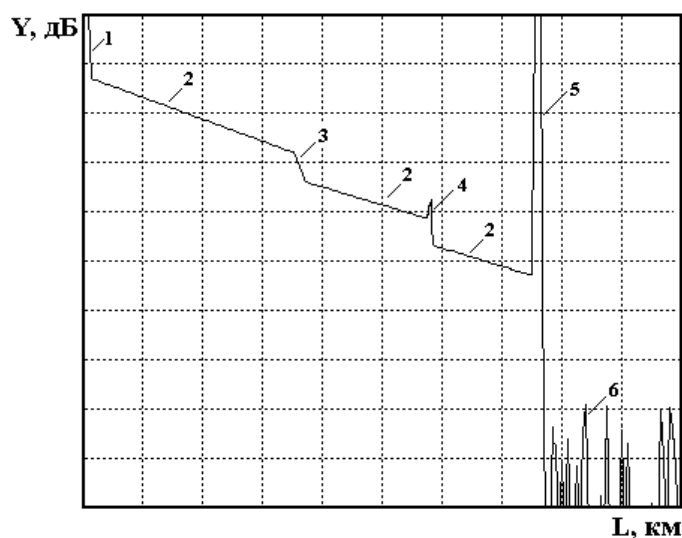


Рис.4.18. Сигнал обратного рассеяния

Метод обратного рассеяния обладает весьма ценными для практики возможностями:

- определение по одной рефлектограмме одновременно целого ряда основных параметров ВОЛТ;
- проведение измерений при одностороннем доступе к ВОЛТ;
- измерение не только общего затухания, но и распределения потерь вдоль ВОЛТ;
- выявление дефектных, например, замкших участков, характеризующихся скачкообразным изменением сигнала обратного рассеяния;
- диагностирование текущего состояния ВОЛТ и прогнозирования аварийных ситуаций путем сравнения только что зарегистрированной и паспортной рефлектограмм ВОЛТ.

#### **Измерение расстояния вдоль линейного тракта.**

Расстояние  $L$  определяется по рефлектограмме, на которой с помощью одного или чаще двух курсоров отмечаются характерные точки, между которыми необходимо найти расстояние по выражению

$$L = \frac{c \cdot t}{n_1}, \quad (4.18)$$

где  $t$  - интервал времени между точками на рефлектограмме;  $c$  - скорость света в вакууме;  $n_1$  - эквивалентный показатель преломления оптического кабеля.

Таким образом, для определения расстояния  $L$  необходимо точно измерить интервал времени  $t$  и правильно задать эквивалентный показатель преломления  $n_1$  оптического кабеля. Современная электроника позволяет достаточно точно измерять временные интервалы. Однако при задании

эквивалентного показателя преломления  $n_1$  возникают значительные трудности, поскольку этот показатель зависит не только от параметров ОВ, но и от скрутки ОВ в оптическом кабеле. При определении расстояния по реальной трассе ОК возникают дополнительные трудности из-за горизонтальных и вертикальных изгибов подземного кабеля в траншее, провисании подвесного ОК и т. п. Усложняет точное определение расстояния также наличие технологического запаса ОК в каждой муфте.

### **Измерение различных видов затухания.**

#### **Измерение затухания между двумя точками и коэффициента затухания однородного участка ВОЛТ.**

Измерение затухания с помощью ОР основано на том факте, что каждая точка однородного участка ОВ дает один и тот же уровень СОР. Уменьшение уровня СОР с увеличением расстояния, наблюдаемое на рефлектограмме, вызвано общим затуханием, а не только рассеянием света.

Затухание сигнала в децибелах между двумя точками 1 и 2 (рис.4.19) определяется как:

$$a = Y_1 - Y_2, \quad (4.19)$$

где  $Y_1$  и  $Y_2$  - уровни СОР (дБ) в точках 1 и 2 соответственно.

Средний коэффициент затухания между точками 1 и 2 ОВ можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \frac{Y_1 - Y_2}{L_2 - L_1}. \quad (4.20)$$

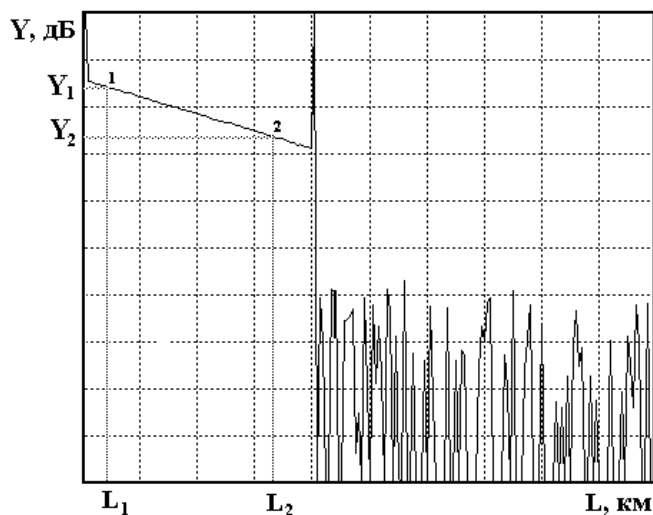


Рис. 4.19. Измерение затухания между двумя точками однородного участка ОВ

Выбор точек, между которыми определяется затухание, осуществляется с помощью двух курсоров, перемещаемых оператором по экрану дисплея. В современных ОР расстояние между курсорами, разность уровней и средний коэффициент затухания между этими точками СОР постоянно отображается на дисплее. Если точки 1 и 2 лежат на однородном участке ОВ, то средний коэффициент затухания (4.20) соответствует коэффициенту затухания ОВ на этом участке.

При измерении затухания между двумя точками неоднородного ВОЛТ возникает методическая погрешность, которая обусловлена тем, что абсолютный уровень СОР зависит от таких параметров ОВ, как коэффициент рассеяния, числовая апертура, диаметр модового поля и т.п. Например, если точки, между которыми измеряется затухание, принадлежат разным ОВ с отличающимися параметрами, то при измерении затухания возникает методическая погрешность, которую можно исключить, проведя измерения с двух концов ВОЛТ и усреднив результат измерения.

#### **Измерение потерь в разъёмном и неразъёмном соединениях.**

В разъёмных и неразъёмных соединениях ОВ в общем случае возникают вносимые и возвратные потери. Вносимые потери определяются отношением падающей на соединение оптической мощности к прошедшей через него мощности. Возвратные потери определяются отношением падающей на соединение оптической мощности к отраженной от него мощности и могут быть выражены через коэффициент отражения (6.4). Наличие возвратных потерь характерно для разъёмных соединений, когда между торцами соединяемых ОВ образуется воздушный зазор. Сварные соединения, как правило, не имеют отраженного излучения. При определении вносимого затухания так же, как при измерении затухания между двумя точками, возникает методическая погрешность, если параметры соединяемых ОВ отличаются. При значительном отличии параметров ОВ могут наблюдаться так называемые отрицательные потери (рис.4.20а). При этом измерения с другой стороны ВОЛТ дадут в этом стыке потери положительные (рис.4.20б).

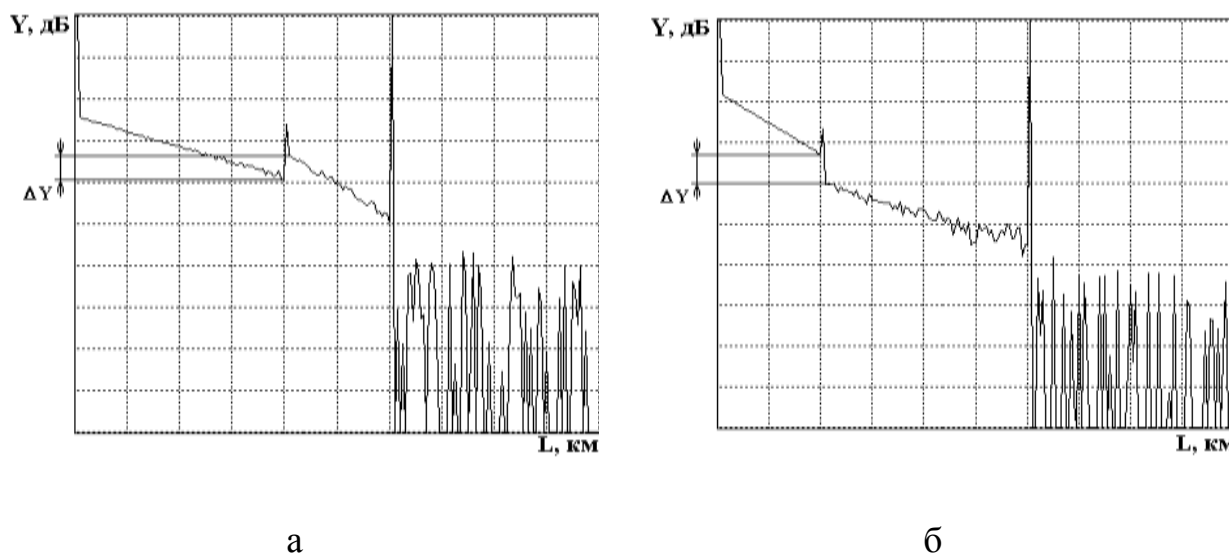


Рис.4.20. Рефлектограммы, зарегистрированные с обоих концов ВТ

Для правильного определения потерь в соединениях (вносимого стыками затухания) измерения также следует проводить с обоих концов ВОЛТ.

По рефлектограмме, зарегистрированной с одного конца ВОЛТ, потери можно определить методом трех курсоров или методом наименьших

квадратов. На рис. 4.21 показана типичная рефлектограмма для разъемного соединения ОВ.

Для курсоров 1, 2 и 3 фиксируют соответствующие уровни сигналов  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  и расстояния  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ . За потери в соединении принимается разность уровней  $Y_A = Y_1$  и  $Y_B$ . Точка А находится в точке начала стыка на расстоянии  $l_1$ , а точка В находится на пересечении курсора 1 с прямой, аппроксимирующей сигнал обратного рассеяния на участке ВОЛТ после соединения. Аппроксимация производится по двум точкам, определяемым курсорами 2 и 3. Курсор 2 следует располагать непосредственно после стыка, в точке, которая лежит на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Курсор 3 должен лежать, как можно дальше от стыка, но на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Тогда для вносимых потерь в разъемных и неразъемных соединениях будет справедливо:

$$a_c = Y_1 - Y_2 \cdot \frac{l_3 - l_1}{l_3 - l_2} + Y_3 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_3 - l_2}. \quad (4.21)$$

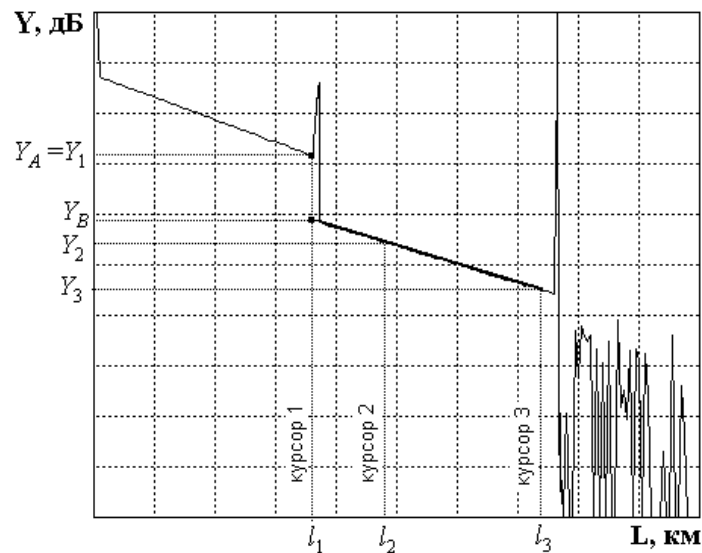


Рис. 4.21. Измерение вносимых потерь в соединении методом трех курсоров

При определении потерь в соединениях для аппроксимации зависимости сигнала обратного рассеяния на участках ВОЛТ до и после стыка ОВ может использоваться метод наименьших квадратов. В этом случае в ОР может использоваться либо один курсор, совмещаемый с местом стыка, либо два курсора, которые устанавливаются по разные стороны от стыка на равном расстоянии от него. Этот метод дает более точные результаты при значительном уровне шума.

Действительные потери в соединении могут быть рассчитаны как среднее значение двух, измеренных с разных концов значений потерь с учетом знака. Особенностью рефлектограммы разъемного соединения является наличие в месте соединения френелевского отражения, которое при измерении вносимого стыком затухания игнорируется.

## Измерение возвратных потерь.

В предыдущем разделе была рассмотрена методика определения вносимых потерь в стыке. В разъёмных соединениях, а также на локальных дефектах, на конце ОВ и в некачественных неразъёмных соединениях возникают френелевские отражения. Отраженные от стыков оптические импульсы могут оказывать отрицательное воздействие на источники излучения ВОСП, особенно одномодовые. Поэтому допустимый уровень этих отражений, так называемые возвратные потери, нормируется и должен обязательно измеряться в одномодовых ВОЛТ.

Для определения возвратных потерь с помощью ОР необходимо получить рефлектограмму (рис.4.22), на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением в разъёмном соединении. Этот выброс не должен вызывать перегрузку фотоприемного устройства. По рефлектограмме измеряют уровни СОР  $a_S$  и  $a_F$ .

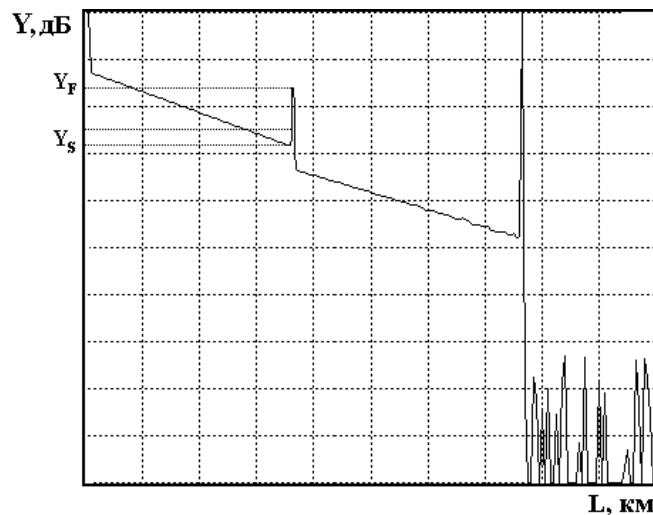


Рис. 4.22. Методика измерения возвратных потерь

Для расчета возвратных потерь по рефлектограмме используют выражение:

$$a_{en} = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_u}{t_{u0}} - 10 \cdot \lg \left( 10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right), \quad (4.22)$$

где  $Y_{s0}$  - относительный уровень СОР при длительности зондирующего импульса  $t_{u0}$ ;  $t_u$  - длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Для  $t_{u0}=1$  нс типичные значения затухания обратного рассеяния  $Y_{s0}$  для стандартных ОВ приведены в табл. 12.5. Более точные значения для ОВ конкретного производителя должны определяться экспериментально.

## Параметры современных ОР.

В настоящее время существует большой выбор ОР. Все современные ОР имеют устройства для накопления СОР от отдельных точек ВОЛТ и логарифмирования СОР, оперативное запоминающее устройство для хранения результатов измерения СОР в каждой точке. В состав ОР входит графический дисплей, позволяющий по зарегистрированной рефлектограмме с помощью одного или нескольких курсоров и встроенных функций

определять различные параметры ВОЛТ. Все современные ОР имеют возможность обмениваться данными с компьютером через стандартный интерфейс.

Наиболее важными параметрами ОР являются динамический диапазон, время измерения, пространственное разрешение и ширина мертвой зоны.

#### **Динамический диапазон.**

Динамический диапазон определяет максимальное затухание ВОЛТ, при котором отношение СОР к шуму  $\geq 1$ . Строго говоря, динамический диапазон не является параметром ОР. Он зависит от типа исследуемого ОВ и используемой длины волны. Динамический диапазон возрастает с увеличением мощности и длительности зондирующего сигнала, увеличения числа накоплений и времени измерения, а также с уменьшением уровня шума ФПУ. Обычно приводимый в рекламных проспектах динамический диапазон ОР соответствует максимальной мощности и длительности зондирующего импульса, максимальному числу накоплений и времени измерения. Динамический диапазон можно определить для конкретной рефлектограммы, как разность между максимальным СОР в ближней зоне и уровнем шума за пределами ВОЛТ.

Уровень шума (порог реагирования) определяется параметрами ФПУ и может быть выражен в единицах оптической мощности  $P_{пор}$  или в логарифмических единицах  $Y_{пор}$  по отношению к некоторой мощности  $P_n$ , принятой за 0 дБ

$$Y_{пор} = 5 \lg (P_{пор}/P_n). \quad (4.23)$$

Порог реагирования ФПУ зависит от типа фотоприемника, коэффициента шума предварительного усилителя и от полосы пропускания  $\Delta F$  усилителя ФПУ. Пороговая мощность может быть выражена через спектральную плотность шума  $S_u$ , приведенную ко входу ФПУ

$$P_{пор} = S_u \Delta F \quad (4.24)$$

Полоса пропускания  $\Delta F$  ФПУ выбирается исходя из допустимых искажений отраженных от неоднородностей ВОЛТ оптических импульсов на выходе ФПУ. Причем, между длительностью импульса  $t_u$  и требуемой полосой пропускания  $\Delta F$  существует обратно пропорциональная зависимость. Полагая, что известен порог реагирования  $P_{пор0}$  ФПУ для длительности импульса, при которой нормируется относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ, т. е. при  $t_u=1$  нс, можно записать порог реагирования ФПУ для любой длительности импульса

$$P_{пор} = P_{пор0} (t_u/1)^{0.5} \quad (4.25)$$

Для увеличения отношения сигнала к шуму, а следовательно, и для увеличения динамического диапазона используют накопление СОР на выходе ФПУ. Накопление или усреднение сигнала в каждой точке рефлектограммы эквивалентно многократным измерениям с последующим расчетом среднего значения. Отношение сигнала к шуму возрастает при этом в корень из  $N$  раз, где  $N$  –число накоплений (измерений) в одной точке.

С учетом сказанного, для порога реагирования в логарифмических единицах можно записать

$$Y_{nop} = 5 \lg (P_{nop0} / P_n) + 2.5 \lg (t_{u0} / t_u) - 2.5 \lg (N). \quad (4.26)$$

Используя определение динамического диапазона, а также (4.15) и (4.26), получим для динамического диапазона

$$D = 5 \lg (P_0 / P_{nop0}) + Y_{s0} + 7.5 \lg (t_u / t_{u0}) + 2.5 \lg (N) - a_{on}. \quad (4.27)$$

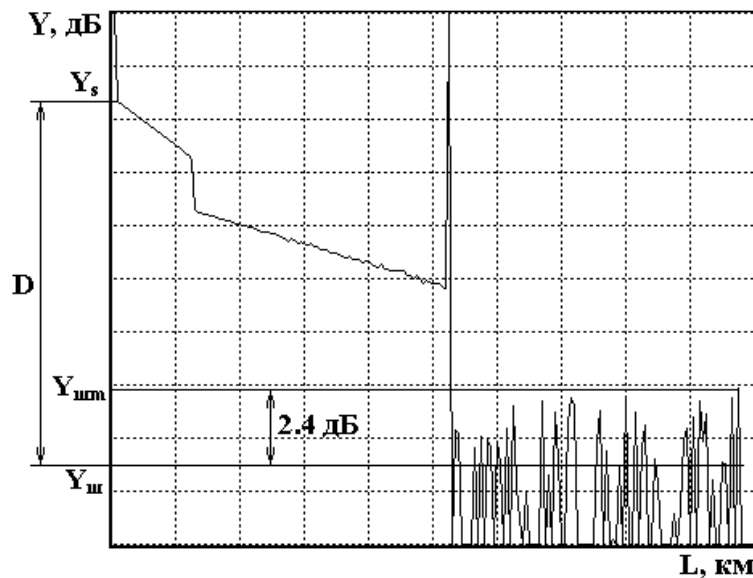


Рис. 4.23. Экспериментальное определение динамического диапазона

Динамический диапазон может быть определен экспериментально по зарегистрированной рефлектограмме, как показано на рис.4.23. Определить по рефлектограмме максимальный уровень обратного рассеяния  $Y_{sm}$  достаточно просто. Сложнее определить уровень, соответствующий среднеквадратическому уровню шума  $Y_u$  (шум ведь процесс случайный). В то же время максимальный уровень шума  $Y_{im}$  за пределами ВОЛТ определить достаточно легко.

Для оценки динамического диапазона можно использовать следующий подход.

Полагаем, что максимальный уровень шума  $P_{im}$  в линейном масштабе примерно в 3 раза превышает среднеквадратическое значение уровня шума  $P_u$ . Тогда после логарифмирования среднеквадратический уровень шума  $Y_u$  будет меньше максимального на 2.4 дБ.

### Время измерения.

Регистрация рефлектограмм происходит не в реальном масштабе времени, так как для выделения сигнала из шума необходимо накопление СОР. Время измерения зависит от числа накоплений  $N$  и периода следования зондирующих импульсов  $T_0$ . Последняя величина зависит от максимальной длины ВОЛТ  $L_m$ , которая, как и  $N$ , устанавливается тем или иным способом оператором. Время измерения можно определить по выражению

$$T_u = NT_0 = NL_m n_1 / c. \quad (4.28)$$

Отметим, что время измерения по этому выражению будет определяться при параллельном накоплении СОР во всех точках

рефлектограммы (параллельное накопление). Это наиболее эффективное (быстрое) накопление. Однако оно требует использование быстродействующей, а, следовательно, и неэкономичной элементной базы для накопителя. Это затрудняет использование параллельного накопления для малогабаритных полевых рефлектометров. Рефлектометры предыдущих поколений использовали последовательное накопление, когда за один период зондирования измеряется СОР только в одной точке рефлектограммы. В этом случае время измерения возрастает в  $M$  раз, где  $M$  – число точек на рефлектограмме. Для уменьшения времени измерения число точек необходимо уменьшать. С другой стороны, число точек должно быть достаточным для обнаружения отражающих неоднородностей. Разумное число точек составляет

$$M = 2L_m / \Delta L = 2T_0 / t_u. \quad (4.29)$$

Применяются не только параллельное и последовательное накопления, но и параллельно-последовательное. Время измерения при этом имеет промежуточное значение между двумя крайними случаями.

### **Пространственное разрешение.**

Пространственное разрешение определяется минимальным расстоянием между двумя локальными неоднородностями, которые можно видеть на рефлектограмме отдельно. Пространственное разрешение в первую очередь зависит от длительности зондирующего импульса. Недостаточная полоса пропускания ФПУ приводит к искажению (уширению) отраженных от неоднородностей импульсов и, следовательно, к ухудшению пространственного разрешения. Значительная дисперсия может также ухудшать пространственное разрешение. Кроме того, пространственное разрешение ухудшается, если две неоднородности сильно отличаются по коэффициенту отражения. Тогда неоднородность с большим коэффициентом отражения маскирует неоднородность с малым коэффициентом отражения. Пространственное разрешение ухудшается также при насыщении ФПУ отраженными от неоднородностей сигналами. Для улучшения пространственного разрешения в ближней зоне ВОЛТ необходимо уменьшать длительность зондирующего импульса, не допускать насыщения ФПУ, уменьшая мощность зондирующего импульса или коэффициент передачи ФПУ.

### **Мертвая зона.**

Мертвая зона возникает на рефлектограмме на участке, следующем за крупной отражающей неоднородностью, которая вводит ФПУ в насыщение. Обычно самое большое отражение, которое насыщает ФПУ, возникает от входного торца ВОЛТ. Отраженный импульс сильно расширяется и, пока ФПУ не выйдет из насыщения, другие неоднородности

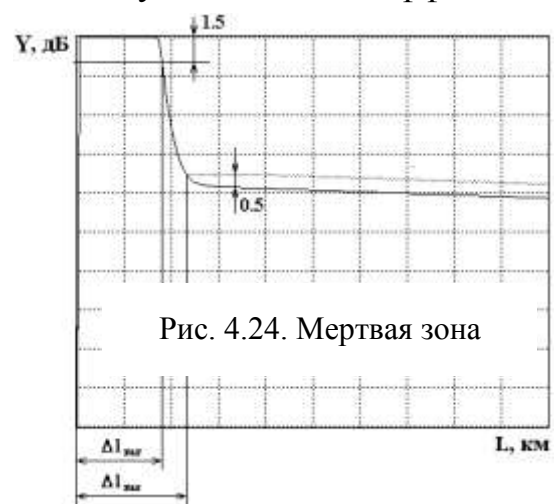


Рис. 4.24. Мертвая зона



нельзя обнаружить. Ширина этого импульса  $\Delta I_m$  определяет ширину мертвой зоны ОР. Различают мертвую зону по обратному рассеянию  $\Delta I_{ms}$  и по отражению  $\Delta I_{mr}$ , как показано на рис. 4.24.

Мертвая зона по отражению определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем  $-1.5$  дБ по отношению к насыщению. Мертвая зона по рассеянию определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем, который отличается от уровня сигнала обратного рассеяния на  $\pm 0.5$  дБ. Для уменьшения мертвой зоны в ближней зоне ВОЛТ в выходной разъем ОР вводят иммерсионную жидкость, уменьшают длительность и мощность зондирующего импульса, включают между ОР и исследуемым ВОЛТ дополнительную бухту ОВ.

### **Оптимальный выбор параметров ОР.**

Одной из основных целей рефлектометрических измерений является измерение коэффициентов затухания на различных участках ВОЛТ (на различных строительных длинах) и вносимых и возвратных потерь в разъемных и неразъемных соединениях. При этом очень важно иметь малую погрешность определения относительных уровней СОР на больших расстояниях от ОР. Это требует большого динамического диапазона, для увеличения которого необходимо увеличивать длительность зондирующего импульса, что приводит к ухудшению пространственного разрешения.

Другой основной целью рефлектометрических измерений является измерение расстояний до различных неоднородностей, в качестве которых можно рассматривать конец ВОЛТ, обрыв, разъемные и неразъемные соединения, локальные дефекты. Для увеличения точности этих измерений необходимо уменьшать длительность зондирующего импульса.

Повышению точности измерений и успешному достижению обеих целей способствует увеличение числа накоплений и времени измерения.

Выбор длительности зондирующего импульса должен производиться с учетом конкретной измерительной задачи. Для получения более полной информации о ВОЛТ желательно регистрировать рефлектограммы с двух сторон ВОЛТ и при разных длительностях зондирующего импульса. Время измерения и число накоплений желательно увеличивать для уменьшения погрешности измерений.

### **Параметры некоторых современных ОР.**

В качестве примера приведем параметры оптического рефлектометра компании Yokogawa AQ7275 (рис.4.25), который имеет малые габариты, экономичен, передает данные в компьютер, по отдельному заказу может комплектоваться встроенным дефектоскопом для визуального контроля целостности ОВ, встроенной катушкой с ОВ, термопринтером. Его основные параметры приведены в таблице 4.4.



Рис. 4.25. Внешний вид оптического рефлектометра AQ7275.

Табл. 4.4. Основные технические параметры оптического рефлектометра AQ7275 модель 735038

Параметры рефлектометра	Значение параметра
Разрешение выборки, см	5, 10, 20, 100, 200 ....
Максимальное число точек рефлектограммы	50000
Групповой показатель преломления	1.3 – 1.8 с шагом 0.00001
Масштаб вертикальной оси, дБ/дел	0.2, 0.5, 1, 2, 5, 7
Минимальное разрешение, дБ	0.001
Длины волн, нм	1310, 1550, 1625 ±25
Длительность импульса, нс	3, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, ..... 20000
Диапазон измерения расстояния, км	0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400
Динамический диапазон, дБ на длинах волн 1310, 1550, 1625 нм	40 / 38 / 36
Мертвая зона по событию, м При длительности импульса 10 нс	0,8
Мертвая зона по затуханию, м на длинах волн 1310, 1550, 1625 нм при длительности импульса 3 нс	7/ 8/ 12
Автономная работа от встроенного источника питания, час	6
Габариты, см	287x197x685
Масса, кг	2.8

Однако представленный ОР, хотя и обладает достаточно хорошим параметрами, весьма дорог. В качестве другого примера приведем ОР, специально предназначенный для измерений в сетях доступа, включая пассивные оптические сети (PON). Это отечественный малогабаритный ОР Топаз-7000-AR (рис.4.26), который совмещает в одном приборе функции оптического рефлектометра и оптического тестера. В этих режимах он работает на 3-х длинах волн, которые можно выбрать при заказе прибора. В режиме оптического тестера прибор совместим с приборами серий ТОПАЗ-7100-А/7200-А/7300-А/7300-АL. Может управляться от компьютера, имеет энергонезависимую память на 450 рефлектограмм. Время непрерывной работы от аккумуляторной.батареи не менее 20 часов. Его основные параметры приведены в таблице 4.5.



Рис. 4.26. Внешний вид оптического рефлектометра Топаз-7000-AR  
Табл. 12.6. Основные технические параметры оптического рефлектометра Топаз-7000-AR

Параметр	Значение
<b>Функция «Оптический рефлектометр»</b>	
Динамический диапазон, дБ	> 20
Мертвая зона по событию, м	< 4
Мертвая зона по затуханию, м	< 12
Число точек рефлектограмм	4096
Минимальное разрешение, м	0,7
Длительности импульса, нс	20/40/150/500/1000/3000/10000
<b>Функция «Оптический тестер»</b>	
Относительная нестабильность ист. излучения(за 8 часов, дБ)	0,25
Режимы работы источника излучения	CW, 270 Гц, 2кГц, CW*
Погрешность измерения мощности, дБ	0,3
Разрешение, дБ	0,01
Длины волн калибровки	850, 1310, 1490, 1550, 1625
Диапазон измерения	800-900 нм, 1200-1700 нм, шаг 1 нм
Единицы измерения	дБм, мВт, мкВт, нВт, дБ

### **Технология CWDM.**

#### **История и причины появления.**

Технология спектрального уплотнения каналов с разделением по длинам волн появилась в начале 80-х годов и поначалу предназначалась для магистральных линий связи, но с 90-х годов WDM стала широко применяться в городских и региональных сетях MAN (Metropolitan Access Network). По мнению специалистов, развитие волоконной оптики и волоконно-оптических систем передачи, включая технологию WDM, несмотря на достигнутые успехи все еще находится в середине своего пути.

Городские сети очень чувствительны к стоимости оборудования и для них наиболее интересной и перспективной технологией стало «неплотное» мультиплексирование с разделением по длине волны («разреженное» спектральное уплотнение) - CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).

Развитие систем WDM стало возможно благодаря улучшению технологии оптического волокна, позволившей на порядок расширить рабочую полосу пропускания оптического волокна: с 30 до 340нм. Затухание в полосе пропускания плавно менялось в относительно небольших пределах:

$\pm 3$ дБ, что в свою очередь позволило значительно (в 10-50 раз) увеличить шаг несущих и тем самым существенно упростить фильтрацию несущих на приёмной стороне, исключив дорогостоящие элементы. Грубое спектральное уплотнение является технологией передачи данных, которая позволяет осуществить дуплексную передачу различных протоколов по оптическому волокну. Технология спектрального уплотнения применяется для более эффективного использования существующей волоконно-оптической инфраструктуры и повышения пропускной способности оптических волокон. Применение уплотнения позволяет снизить затраты на прокладку нового оптического кабеля.

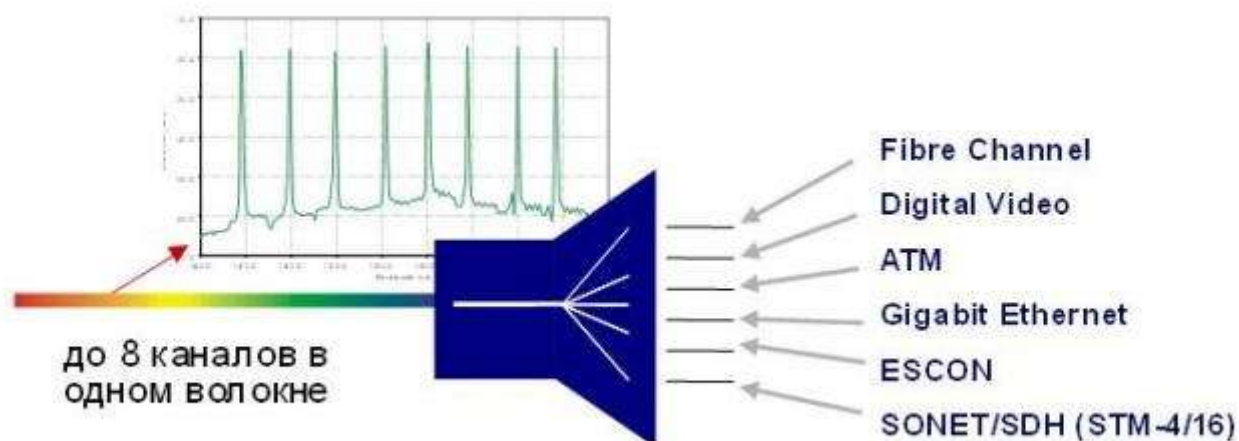
#### **Область применения.**

Многие сети крупных городов не модернизировались уже десять лет. Постоянное увеличение трафика привело некоторые зоны к тому, что у них уже почти не осталось ресурсов для роста. Недостаточная пропускная способность сети, известная также под названием «истощение волокон», является той проблемой, которую операторы связи хотели бы разрешить незамедлительно. Добавление системы спектрального уплотнения в оптическую транспортную систему является простым и экономически выгодным решением проблемы истощения (нехватки) волокон. По уже существующему оптическому волокну может производиться дополнительное обслуживание без прерывания обслуживания уже имеющихся абонентов.

Условия, в которых целесообразно применение спектрального уплотнения:

- Городские и региональные оптические сети
- Строительство сети в условиях дефицита ОВ (или высокой стоимости аренды ОВ)
- Необходимость увеличения пропускной способности существующих сетей на базе ВОЛС
- Предоставление множества услуг по оптоволоконной паре
- Построение оптических сетей для предоставления в аренду «виртуального» волокна

Решения грубого спектрального уплотнения независимы к различным протоколам передачи информации. Это позволяет создавать различные телекоммуникационные услуги в одной транспортной среде.



Создание до 8 логических пар волокон (каналов), используя различные длины волн, по одному волокну

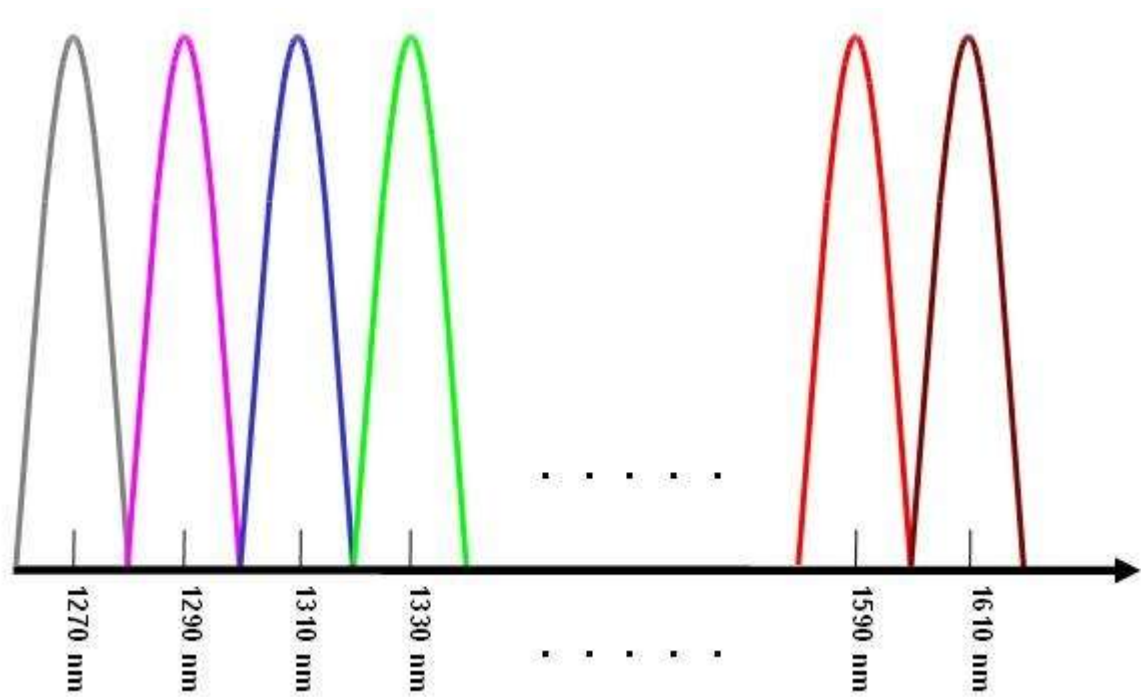
- Прозрачность для всех протоколов от 100Мбит/с до 40Гбит/с
- Любая комбинация сервисов по одному и тому же кабелю

#### **Описание технологии.**

Грубое спектральное уплотнение основывается на методе уплотнения оптических каналов, отстоящих друг от друга на расстоянии 20нм. Принцип данного метода заключается в том, что каждый информационный поток передается по одному оптическому волокну на разной длине волны (на разной несущей частоте). С помощью специальных устройств – оптических мультиплексоров – потоки объединяются в один оптический сигнал, который вводится в оптическое волокно. На приёмной стороне производится обратная операция – демультиплексирование, осуществляемая с применением оптических демультиплексоров. Это открывает поистине неисчерпаемые возможности как для увеличения пропускной способности линии, так и построению сложных топологических решений с использованием одного волокна.

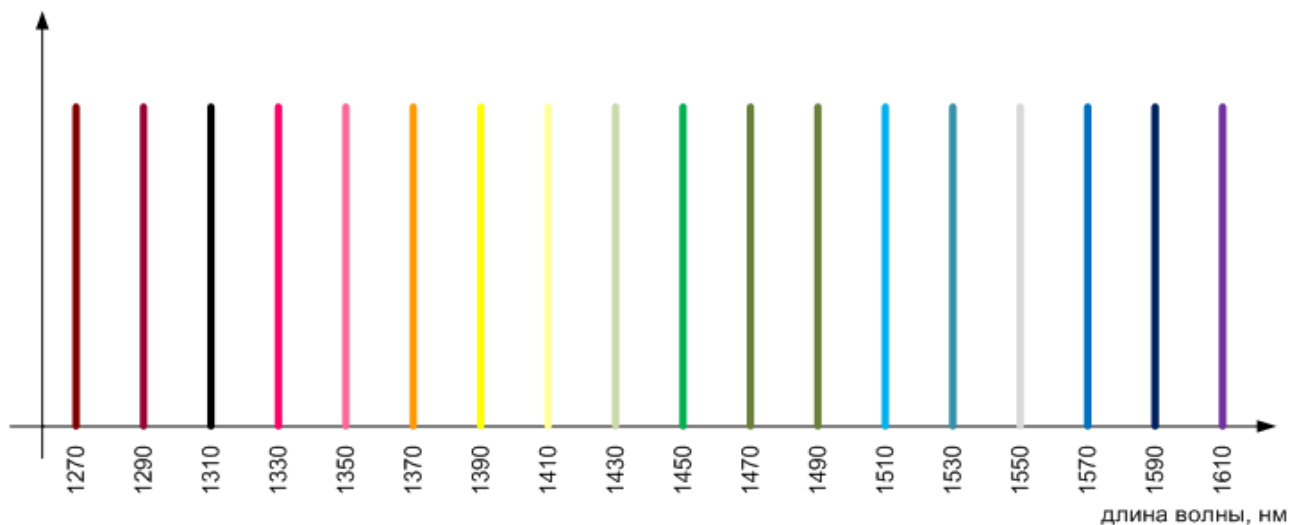
Оптические каналы лежат в диапазоне от 1270нм до 1610нм, число возможных каналов передачи – до 18.

При выборе количества каналов следует обратить внимание на тип используемого одномодового волокна. Например, в волокнах типа G.652В (волокно с водяным пиком на длине волны 1383нм) на коротких длинах волн большие потери на излучение, в связи с этим допустимое расстояние передачи сокращается и количество спектральных каналов будет меньше требуемого.



Технология CWDM лучше всего подходит для построения каналов протяженностью до 80км. Как правило, к этой категории относятся линии связи между узлами доступа и коммутационными центрами сети провайдера. Системы спектрального уплотнения позволяют сэкономить немало средств на затратах построения и модификации волоконных линий, узлов, аренды волокна, обеспечивая высокую степень эффективности, безопасности, устойчивости и качества обслуживания соединений.

В системах Coarse WDM, в соответствии с рекомендацией МСЭ G.694.2 следует использовать не более 18 несущих с шагом 20нм: 1270, 1290, 1310 ... 1570, 1590, 1610, т.е. если общая требуемая ширина диапазона длин волн не превышает 340нм.



Следует учесть, что на краях такого широкого диапазона затухание достаточно велико, особенно в области коротких волн. Увеличить число каналов до 18 позволили так называемые волокна с нулевым водяным пиком (ZWPF, Zero Water Peak Fiber; LWPF, Low Water Peak Fiber), параметры которых определяет рекомендация ITU-T G.656.C/D. В волокнах данного типа устранен пик поглощения на длине волны 1383нм и величина затухания на этой длине волны составляет порядка 0,31дБ/км.

Волокно G.653 оказалось непригодным для новой стремительно развивающейся технологии спектрального мультиплексирования WDM из-за нулевой дисперсии на 1550 нм, приводившей к резкому возрастанию искажений сигнала от четырехволнового смешения в этих системах. Наиболее приспособленным для плотного и высокоплотного WDM (DWDM и HDWDM) оказалось оптическое волокно G.655, а для разреженного WDM – недавно стандартизованное оптическое волокно G.656.

#### **Применение различных типов волокон.**

Тип волокна	G.652.C/D	G.655	G.655, G.656
<b>Основное применение</b>	Системы SDH/DWDM Магистральная, зонавая, городская сеть, кабельное телефодение, PON, сети FTTH Замена волокна G.652.A/B с окном прозрачности на 1400нм	Системы SDH/DWDM От 2.5 до 10Гбит/с на один оптический канал Магистральная, зонавая, городская сеть	Системы SDH/DWDM От 10 до 100Гбит/с на один оптический канал Магистральная, зонавая, городская сеть

Создание волокон без «водяного пика», позволило использовать в системах связи все волны в диапазоне от 1260 до 1625нм, – т.е. там, где кварцевое оптическое волокно обладает наибольшей прозрачностью.

#### **Основное оборудование.**

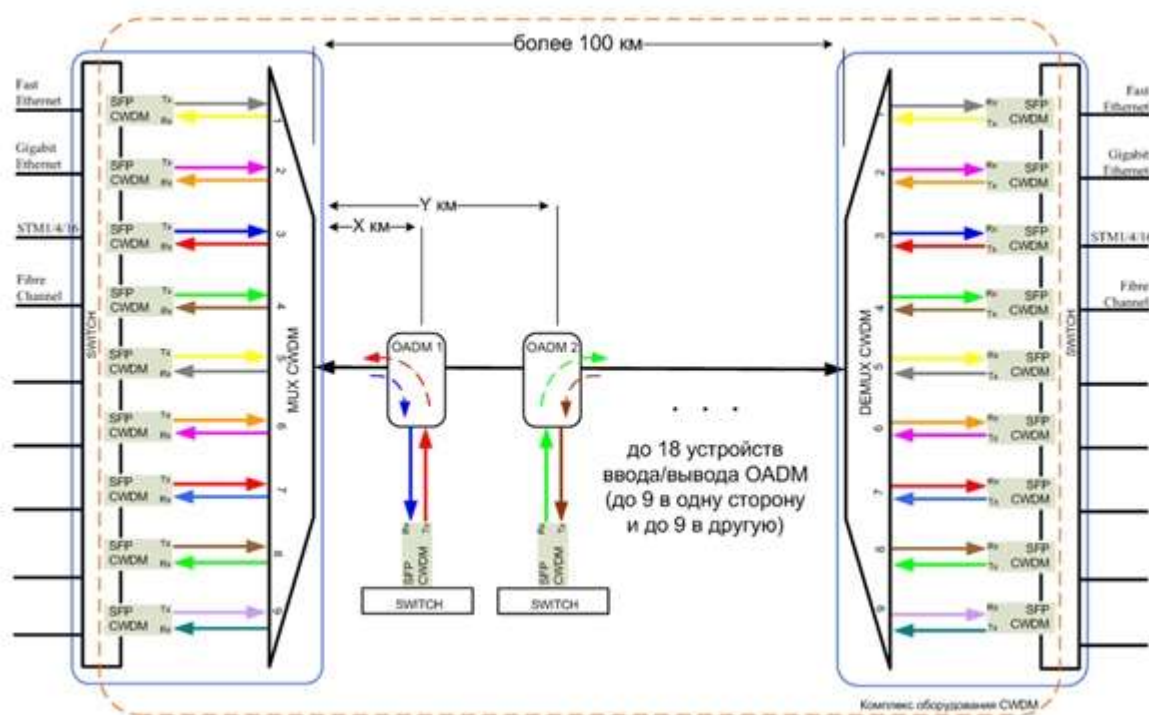
Системы спектрального уплотнения являются частью сети оператора связи и устанавливаются между двумя или более узлами связи. Для того, чтобы обеспечить работу системы на узле связи необходимо наличие активных сетевых устройств с достаточным суммарным количеством портов для установки SFP-трансиверов. Такими сетевыми устройствами обычно являются коммутаторы и маршрутизаторы. В случае недостаточного количества активных сетевых устройств с необходимым суммарным количеством SFP-портов возможно использование медиаконверторов со слотами под SFP-трансиверы. Такое решение в ряде случаев тоже является более экономически выгодным.

Основными элементами систем спектрального уплотнения являются:

- Мультиплексоры/демультиплексоры (MUX/DEMUX) - позволяют суммировать и разделять оптические сигналы;
- OADM модули - мультиплексоры ввода/вывода - позволяют выделить и добавить в волокно сигнал по определенным несущим;



- SFP трансиверы - формируют и принимают оптические сигналы (длины волн) в системе; переводят сигнал из электрического (активное оборудование) в оптический и обратно.



Стоит обратить внимание на то, что мультиплексоры/демультиплексоры и SFP-трансиверы работают в парах. Соответственно это оборудование Type I и Type II. Такая необходимость обусловлена тем, что каждый канал на разных концах имеет зеркальные значения по приему (RX) и передаче (TX), т.к. сформирован из двух несущих (длин волн).



## SFP трансиверы

SFP - Small Form Factor Pluggable является общепризнанным промышленным форматом производства сменных трансиверов. SFP широко используются в активном сетевом оборудовании: маршрутизаторах, коммутаторах, медиаконвертерах. Лазеры с распределенной обратной связью (DFB, Distributed Feedback) не требуют термической стабилизации, громоздких и сложных схем управления, являются малогабаритными, экономичными и имеют малую стоимость. Типичный DFB-лазер имеет



температурную стабильность, что даёт изменение генерируемой длины волны в пределах 6–8нм в диапазоне температур 0–70ОС.

SFP-трансиверы предназначены для формирования оптических сигналов «основной несущей» с 1270 по 1610нм (шаг 20нм).

Каждый SFP-трансивер работает по двум волокнам и, в отличие от стандартных двухволоконных трансиверов 1000Base LX, оперирует двумя разными длинами волн – широкополосный приёмник работает с одной длиной волны и передатчик с другой.

Для образования канала данных в системе SFP-трансиверы комплектуются «попарно».

Цвет	Type I	Type II
Серый	Tx1470/Rx1310 nm	Tx1310/Rx1470 nm
Розовый	Tx1490/Rx1330 nm	Tx1330/Rx1490 nm
Синий	Tx1510/Rx1350 nm	Tx1350/Rx1510 nm
Зеленый	Tx1530/Rx1370 nm	Tx1370/Rx1530 nm
Желтый	Tx1550/Rx1390 nm	Tx1390/Rx1550 nm
Оранжевый	Tx1570/Rx1410 nm	Tx1410/Rx1570 nm
Красный	Tx1590/Rx1430 nm	Tx1430/Rx1590 nm
Коричневый	Tx1610/Rx1450 nm	Tx1450/Rx1610 nm

В силу того, что системы грубого спектрального уплотнения являются пассивными, осуществление мониторинга состояния оборудования и всей трассы в целом в режиме реального времени представляется затруднительным.

Для мониторинга в режиме реального времени (on-line мониторинга) используются трансиверы с функцией DDM (Digital Diagnostic Monitoring). Функция DDM позволяет в режиме реального времени контролировать параметры, которые имеет SFP-трансивер: мощность входящего сигнала (RX), мощность исходящего сигнала (TX), температурные параметры работы трансивера. Изменения данных параметров позволяют судить об износе системы и состоянии трассы в целом. Функция DDM также используется при оценке оптического бюджета линии. Сравнение данных SFP-трансиверов позволяет определить реальные потери по несущим в волокне.

SFP-трансивер так же отличается по дальности своей работы (мощности сигнала). SFP-трансивер имеет стандартный километраж 10км, 20км, 40км или 80км. Стандартный тип разъёма для коннектора на SFP-трансивере – LC.

## Оптические мультиплексоры.

Оптический мультиплексор/демультиплексор предназначен для суммирования и разделения оптических сигналов, передаваемых на длинах волн 1270-1610нм по одномодовому (Single Mode) оптическому кабелю. Прибор предназначен для совместной работы с трансиверами SFP сигналов, образуя 4 или 8 каналов на 8-и или 16-ти длинах волн в одном волокне или до 32 каналов на двух волокнах.



Устройства отличаются низким отражением сигнала, высокой изоляцией каналов и малыми потерями. WDM мультиплексоры являются устройствами двунаправленного действия, т.е. могут, как разделять, так и смешивать оптические сигналы. Устройства доступны в различных исполнениях, что позволяет использовать их в различных системах передачи.

В зависимости от поставленной задачи конфигурация мультиплексора/демультиплексора (Mux/Demux) определяется по следующим характеристикам:

- Двухволоконный мультиплексор (2 fiber)
- Одноволоконный мультиплексор (1 fiber (single fiber) или bidirectional)
- 4-х или 8-ми канальный мультиплексор (8 или 16 длин волн), работающий на одном волокне
- 8-ми или 16-ти канальный, работающий на двух волокнах
- Мультиплексор с двумя «общими» (COMMON) выводами для реализации «кольцевой» топологии
- Для топологий «Точка-Точка» или «Кольцо» необходима «попарная» (порты Tx–Rx) комплектация мультиплексоров – Mux/Demux Type I , Mux/Demux Type II
- Коннекторы – FC, SC, LC, ST, FA, SA

### OADM модули.

Модули Ввода/Вывода (Add/Drop (OADM) выделяют определенные длины волн из потока (оптической линии).

Основные свойства:

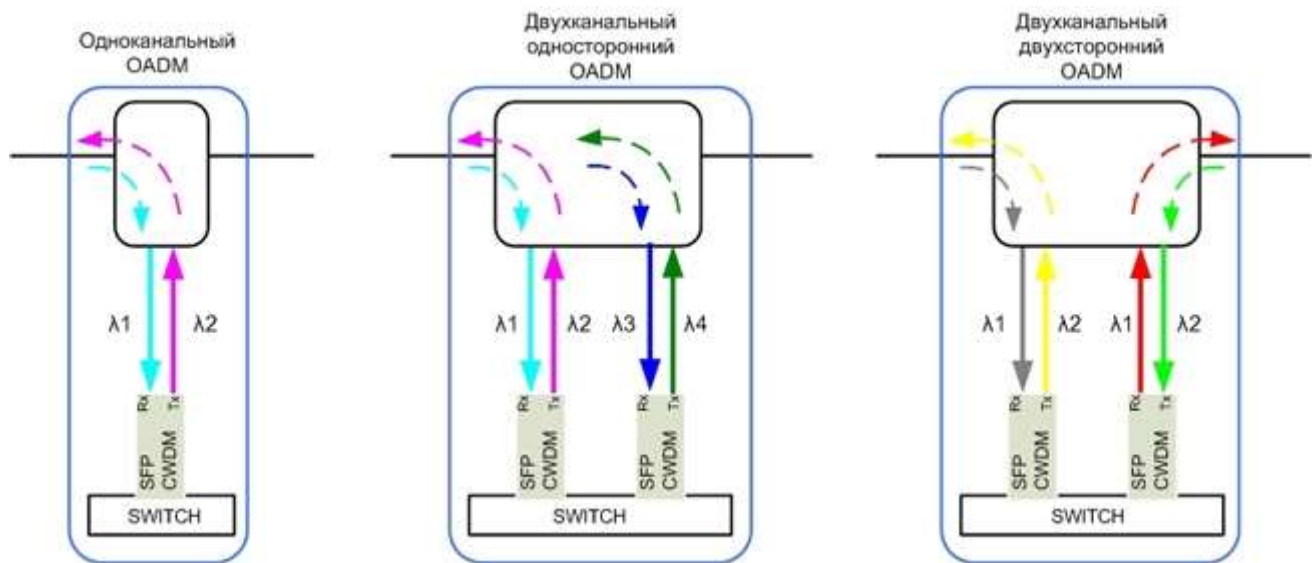
Ввод/вывод одного канала

- Пассивная оптика
- Низкие вносимые потери для транзитных каналов
- Выделенная длина волны конечному пользователю

Принципиально выделяются OADM модули одноканальные и двухканальные. Их отличие заключается в способности принимать и получать оптический сигнал от одного или двух мультиплексоров и физически обусловлено наличием одного или двух приёмо-передающих блоков. Соответственно, одноканальный OADM модуль имеет один приёмо-передающий блок и способен работать только с одним мультиплексором (см.



далее топология «Точка с ответвлениями») в «одну сторону». Двухканальный OADM модуль имеет два приёмо-передающих блока и способен работать «в две стороны» с двумя мультиплексорами/ демультимплексорами (см. остальные варианты топологии).



Приёмо-передающий блок одноканального OADM модуля имеет четыре интерфейса:

- Com порт – получает сигнал со стороны мультиплексора;
- Express порт – пропускает сигнал на другие элементы системы;
- Add порт – добавляет в линию канал на определенной длине волны;
- Drop порт – извлекает из линии канал на определенной длине волны.

Ограничений по протоколам или ширине полосы такие устройства не имеют. Соответственно двухканальный OADM модуль обладает двумя дополнительными портами Add и Drop.

В случае использования двухволоконной системы так же добавляются порты Com2 и Express2.

Одноканальный OADM модуль работает в паре с 1 SFP-трансивером, двухканальный OADM – с двумя (Type I и Type II).

#### **Достоинства.**

- Экономия оптического волокна — система спектрального уплотнения позволяет передавать по одному волокну до 8 каналов с пропускной способностью до 2,5 Гб/с на канал
- Независимость от электропитания — питание необходимо только для активного оборудования
- Отсутствие проблем «падения», перезагрузок и пр.
- Отсутствие необходимости организации постоянного доступа к местам размещения элементов системы — существуют OADM модули в исполнении для размещения в оптических муфтах
- Снижение уровня влияния «человеческого фактора» - отсутствие активных компонентов, требующих настройки, управления и пр.
- Значительное снижение стоимости владения — снижение уровня эксплуатационных расходов

- Относительно невысокая стоимость, возможность отказа от оборудования уровня агрегации
- Максимальная дальность работы составляет 80 и более километров
- Независимость от клиентских протоколов - передача до 18-ти независимых сервисов по двум парам оптических волокон; прозрачность для всех протоколов передачи данных
- Наличие различных видов оборудования для монтажа в различных условиях: в стойку, в муфту, на стену

