



Creating a brighter future

СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ПО СЕТЯМ FTTH

5-е издание

Дата обновления – 06.02.2012



Fibre to the Home
Council **Europe**

Условия использования информации в данном документе

Данное руководство не является нормативным документом. Вся информация, приведенная в руководстве, является достоверной и предназначена для общего ознакомления. Кроме того, информация не обязательно может выражать официальную позицию Совета Европы по сетям FTTH.

Ссылки на любую продукцию или технологию не подразумевают поддержку или рекомендации к использованию Советом Европы по сетям FTTH.

Совет Европы по сетям FTTH не дает гарантий относительно точности и полноты этой информации и не несет никакой ответственности за ее использование.

Все торговые марки подтверждены Советом Европы по сетям FTTH как собственность их владельцев.

Для получения дополнительной интересующей вас информации, пожалуйста, обращайтесь к **Natascha Weinstabl**, менеджеру по проектам, Совет Европы по сетям FTTH, pm@ftthcouncil.eu.

© FTTH Council Europe 2012
Wettelijk Depot: D/2012/12.345/1



Этот документ издан по лицензии “Creative Commons License 3.0 Attribution”, и не имеет коммерческой ценности. Согласно условиям данной лицензии вы можете копировать и обмениваться данным документом, но вы не имеете прав изменять информацию и использовать документ в коммерческих целях.

Третье и четвёртое издание были отредактированы **Pauline Rigby**, внештатным редактором.

Пятое издание было пересмотрено и отредактировано **Eileen Connolly Bull**, Connolly Communication AB.

Выражение благодарности

Справочное руководство по сетям FTTH было создано Советом Европы по сетям FTTH и основывается на практических знаниях и опыте компаний, принимающих участие в создании данного документа.

Мы благодарим ниже упомянутых людей за их потраченное время, усилия и вклад в составление документа, а также выражаем признательность за предоставленные оригинальные материалы и рисунки, которые были использованы в данном руководстве:

Первое-Четвёртое издания – совместная работа участников Комитета по строительству и эксплуатации Совета Европы по сетям FTTH.

Пятое издание:

Cristina Deac, Reichle & De-Massari (Chair of the Deployment & Operations Committee); **Eric Festraets**, Alcatel-Lucent; **Chris Holden**, Corning Cable Systems; **Daniel Moortgat**, Alcatel-Lucent; **Jim Crowfoot**, Senko; **Diarmuid Kelly**, AND-Solution; **Peter Kiesheyer**, Corning Cable Systems; **Lars Züllig**, Huber+Suhner; **Raf Meersman**, Comsof; **Ulrich Scheu**, Scheu-Netzplanung; **Roland Wessäly**, Atesio.

Вступление

Печатные издания Совета Европы по сетям FTTH играют важную роль в нашем стремлении ускорить внедрение сетей FTTH в жилых домах и на предприятиях по всей Европе. Эти документы помогают получить больше знаний о сетях FTTH, что особенно важно для новых потенциальных абонентов и альтернативных операторов связи.

Справочное руководство по сетям FTTH было первым главным изданием Совета Европы по сетям FTTH. Изначально руководство было издано в 2007 году и его целью являлось предоставление объективной информации о возможных способах прокладки волоконно-оптических кабелей. Позже руководство было расширено добавлением технических решений, таких как пассивные и активные элементы оптической сети, а также оборудование, которое устанавливается на стороне абонента.

Каждый год документ пересматривается. В этом году команда авторов включила два новых раздела - это планирование сети FTTH и внутридомовая кабельная разводка, а также появились обновления к уже существующим разделам. Данное пятое издание Руководства отображает полную информацию по технологиям развёртывания и ввода в эксплуатацию сетей FTTH.

Уважаемые читатели, этот документ является для вас справочной информацией. Поэтому ваше мнение очень важно для нас. Просим вас присылать свои предложения касательно содержания Руководства, чтобы мы могли в дальнейшем дополнять и обновлять информацию.

Совет Европы по сетям FTTH включает более 160 компаний-участников по всей Европе, занимающихся производством, строительством и вводом в эксплуатацию всех элементов волоконно-оптических сетей связи. Поэтому Совет Европы по сетям FTTH гарантирует, что данное Руководство содержит самую новейшую информацию, основанную на последних достижениях в области телекоммуникаций.



Chris Holden, Президент Совета Европы по сетям FTTH

Содержание

- 1 Введение
- 2 Общее описание сети FTTH
 - 2.1 Место развёртывания сети FTTH
 - 2.2 Архитектура сети FTTH
 - 2.3 Технологии
3. Планирование сети
 - 3.1 Основа для планирования – эта база данных
 - 3.1.1 Картографические данные
 - 3.1.2 Спецификация оборудования для строительства сети
 - 3.1.3 Затраты
 - 3.2 Механизм планирования сети: инструменты
 - 3.3 Стратегическое планирование сети
 - 3.3.1 В какой местности будет проводиться развёртывание сети?
 - 3.3.2 Какой порядок развёртывания подзон сети?
 - 3.3.3 Какие методы, компоненты и технологии будут использоваться для построения сети?
 - 3.4 Планирование сети высокого уровня
 - 3.4.1 Где будут размещены сетевые узлы POP?
 - 3.4.2 Какое количество точек распределения волокон (FCP)?
 - 3.4.3 Какие трассы прокладки линейных и распределительных кабелей будут использоваться?
 - 3.4.4 Какая ожидаемая стоимость необходимых материалов?
 - 3.5 Детальное планирование сети
 - 3.5.1 Подробные данные
 - 3.5.2 Создание проектной документации
 - 3.5.3 Документация
 - 3.5.4 Управление производственным процессом
- 4 Активное оборудование
 - 4.1 Пассивная оптическая сеть
 - 4.1.1 Технологии PON
 - 4.1.2 Активное оборудование PON
 - 4.1.3 Распределение полосы пропускания
 - 4.2 Оптимизация развёртывания сетей PON
 - 4.3 Ethernet «точка-точка»
 - 4.3.1 Решения Ethernet «точка-точка»
 - 4.3.2 Технологии передачи данных
 - 4.3.3 Решения для передачи видеосигнала
 - 4.4 Оборудование, устанавливаемое на стороне абонента
 - 4.5 Развитие технологий
 - 4.5.1 Тенденции развития широкополосной сети доступа
 - 4.5.2 Пассивные оптические сети
 - 4.5.3 Следующее поколение технологий PON
- 5 Совместное использование инфраструктуры
 - 5.1 Бизнес-модели
 - 5.2 Совместный доступ к инфраструктуре

- 6 Элементы инфраструктуры сети
 - 6.1 Узел доступа
 - 6.2 Линейные кабели
 - 6.3 Первичная точка распределения волокон
 - 6.4 Распределительные кабели
 - 6.5 Вторичная точка распределения волокон
 - 6.6 Кабели абонентской разводки
 - 6.6.1 Кабели абонентской разводки, прокладываемые в кабельных каналах
 - 6.6.2 Кабели абонентской разводки, прокладываемые непосредственно в грунт
 - 6.6.3 Кабели абонентской разводки, подвешиваемые на опорах
 - 6.6.4 Кабели абонентской разводки, прокладываемые по фасадам зданий
 - 6.7 Кабели внутридомовой разводки
- 7 Кабели внутридомовой разводки
 - 7.1 Модель построения внутридомового участка сети
 - 7.1.1 Точка входа в здание ВЕР
 - 7.1.2 Этажное распределительное устройство FD
 - 7.1.3 Внутридомовая разводка
 - 7.1.4 Оптический абонентский модуль ОТО
 - 7.1.5 Оптический сетевой терминал ONT
 - 7.1.6 Оборудование абонента, подключаемое к сети CPE/SPE
 - 7.1.7 Внутриквартирная кабельная разводка
 - 7.1.8 Оборудование абонента
 - 7.2 Общий обзор параметров оптических волокон и кабелей внутридомовой разводки
 - 7.2.1 Характеристики волокна
 - 7.2.2 Требования к радиусу изгиба волокна
 - 7.2.3 Типы кабелей
 - 7.2.4 Кабели для внешней прокладки
 - 7.2.5 Кабели для внутренней прокладки
 - 7.2.6 Цветовая маркировка волокон
 - 7.2.7 Пневмопрокладка волокон и кабелей
 - 7.2.8 Кабели в оболочке, не распространяющей горение
 - 7.3 Основные требования к устройству в точке входа в здание ВЕР
 - 7.3.1 Сварное соединение волокон в устройстве ВЕР
 - 7.3.2 Коммутационный бокс, устанавливаемый в точке ВЕР
 - 7.3.3 Кассеты для выкладки сростков и запаса оптических волокон
 - 7.3.4 Размещение устройства точки ввода в здание ВЕР
 - 7.4 Этажное распределительное устройство
 - 7.5 Оптический абонентский модуль (ОТО)
 - 7.5.1 Типы и характеристики соединения оптических волокон в модуле ОТО
 - 7.5.2 Оптические коннекторы
 - 7.5.3 Требования к сросткам волокон
 - 7.5.4 Место расположения абонентского модуля ОТО
 - 7.5.5 Тестирование внутридомового участка сети (между ВЕР и ОТО)
 - 7.5.6 Техника безопасности
 - 7.5.7 Общие требования
 - 7.5.8 Техника безопасности при работе с лазерным излучением

- 8 Методы и оборудование для строительства сети
 - 8.1 Кабельные каналы
 - 8.1.1 Сеть кабельных каналов
 - 8.1.2 Типы кабельных каналов
 - 8.1.3 Конструкция кабелей, прокладываемых в каналах
 - 8.1.3.1 Прокладка кабелей в каналы методом затягивания
 - 8.1.3.2 Пневмопрокладка кабелей
 - 8.1.3.3 Прокладка кабеля с помощью подачи водяного давления
 - 8.1.4 Использование оболочек старых медножильных кабелей для прокладки оптических кабелей
 - 8.1.5 Колодцы кабельной канализации
 - 8.1.6 Оптические муфты
 - 8.2 Технология пневмопрокладки микрокабелей и микроканалов
 - 8.2.1 Технология пневмопрокладки волокон с использованием микроканалов
 - 8.2.2 Соединители и муфты для микроканалов
 - 8.2.3 Микрокабели и волоконные модули
 - 8.2.4 Метод прокладки микрокабелей и волоконных модулей
 - 8.2.5 Колодцы кабельной канализации
 - 8.2.6 Соединительные муфты для микрокабелей
 - 8.3 Кабели, прокладываемые в грунте
 - 8.3.1 Способы прокладки кабелей
 - 8.3.2 Типы кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт
 - 8.3.3 Защита кабеля от попадания разряда молнии
 - 8.3.4 Защита кабеля от грызунов
 - 8.3.5 Защита кабеля от термитов
 - 8.3.6 Смотровые устройства и колодцы
 - 8.3.7 Оптические муфты
 - 8.4 Кабели, подвешиваемые на опорах
 - 8.4.1 Учёт нагрузок на опоры
 - 8.4.2 Типы кабелей, применяемых для строительства воздушных ВОЛС
 - 8.4.3 Кабельная арматура
 - 8.4.4 Воздействие на кабель растягивающих усилий
 - 8.4.5 Муфты для защиты сростков волокон подвесных оптических кабелей
 - 8.4.6 Вандалозащищённость кабелей и муфт воздушных ВОЛС
 - 8.5 Устройства с прединсталлированными коннекторами
 - 8.6 Шкафы наружной установки
 - 8.7 Альтернативные методы прокладки оптических кабелей
 - 8.7.1 Прокладка оптических кабелей в каналах сточной канализации
 - 8.7.2 Прокладка оптических кабелей в газопроводных трубах
 - 8.7.3 Прокладка оптических кабелей в водопроводных трубах
 - 8.7.4 Прокладка оптических кабелей по дну водных каналов и водонаправляющих траншей
 - 8.7.5 Использование подземных и наземных транспортных туннелей для прокладки оптических кабелей
- 9 Оптическое волокно
 - 9.1 Выбор оптического волокна для строительства сети FTTH
 - 9.1.1 Общие сведения об оптических волокнах
 - 9.1.2 Одномодовое оптическое волокно
 - 9.1.3 Градиентное многомодовое оптическое волокно
 - 9.1.4 Волокно, не чувствительное к макроизгибам

- 9.2 Оконечивание волокон
 - 9.2.1 Оптические панели
 - 9.2.2 Шкафы наружной установки
 - 9.3 Коннекторы, патчкорды и пигтейлы
 - 9.3.1 Наиболее распространённые типы оптических коннекторов
 - 9.3.2 Потери обратного отражения оптического сигнала
 - 9.3.3 Вносимые потери оптического сигнала
 - 9.3.4 Оптические потери, вызванные эксцентриситетом (смещением волокна)
 - 9.4 Сращивание оптических волокон
 - 9.4.1 Сварная технология сращивания волокон
 - 9.4.2 Механическое соединение волокон
 - 9.5 Оптические разветвители (сплиттеры)
 - 9.5.1 Сплавные биконические сплиттеры
 - 9.5.2 Планарные сплиттеры
 - 9.6 Градации качества оптических коннекторов
- 10 Рекомендации по строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию
- 10.1 Планирование и организация строительства
 - 10.1.1 Процесс подготовки к строительству
 - 10.1.2 Общие рекомендации по технике безопасности при проведении строительных работ
 - 10.1.3 Общее описание требований к линейно-кабельной инфраструктуре
 - 10.1.4 Общее описание требований по прокладке кабелей
- 11 Проведение измерений оптических параметров сети FTTH
- 11.1 Контроль коннекторов
 - 11.1.1 Почему важно чистить коннекторы?
 - 11.1.2 Какие оптические компоненты следует проверять и очищать?
 - 11.1.3 Когда следует проверять и очищать коннектор?
 - 11.1.4 Каким образом следует проверять коннекторы?
 - 11.1.5 Алгоритм проведения визуального контроля
 - 11.1.6 Инструменты и материалы для очистки коннекторов
 - 11.1.7 Материалы для очистки коннекторов
 - 11.2 Проведение измерений оптических параметров сетей FTTH на этапе строительства
 - 11.2.1 Метод 1: Использование оптических тестеров для измерения затухания линии
 - 11.2.2 Метод 2: Использование оптического рефлектометра (OTDR)
- 12 Поиск неисправностей

Дополнение А: Стандарты Международной Электротехнической Комиссии для волоконно-оптических сетей широкополосного доступа

Термины и определения

1 Введение

Основные цели развёртывания сетей FTTH – это получить ожидаемый доход от капиталовложений в рамках определённых бизнес-параметров и предоставить абонентам определённые услуги и информацию при выборе оптимального процесса развёртывания.

Совет Европы по сетям FTTH издал две публикации, которые содержат два аспекта. Бизнес Руководство по сетям FTTH описывает общие бизнес-аспекты, а Справочное руководство по сетям FTTH раскрывает технологии развёртывания и ввода в эксплуатацию сетей FTTH.

Это пятое издание Справочного руководства, которое каждый год дополняется новой информацией, так как участники Совета накапливают знания, опыт и успешно применяют технологии. Передать эти знания и опыт на страницах Справочного руководства – непростая задача, которая требует от участников Комитета по строительству и вводу в эксплуатацию сетей FTTH преданности своей работе.

Данное издание содержит две дополнительные главы, которые раскрывают такие важные темы, как планирование сети FTTH и организация внутридомовой кабельной разводки.

Основная задача при планировании сети FTTH – это обратить внимание специалистов на важность и необходимость процесса тщательного планирования на начальном этапе строительства сети.

Что касается раздела по внутридомовой кабельной разводке, то здесь описывается базовая модель, которая основывается на международных стандартах.

Одной из главных задач Совета является создание профессиональных рекомендаций для построения и эксплуатации сетей FTTH на основе международных стандартов.

Данное руководство может использоваться как справочная информация, и мы планируем в последующих изданиях учесть мнения наших читателей относительно всех рассматриваемых в Руководстве тем.



Cristina Deac, Chair Deployment & Operations Committee

2 Общее описание сети FTTH

Сеть FTTH (волокно до абонента) основана на волоконно-оптической сети доступа, которая подключает большое количество конечных пользователей к центральному узлу, называемому сетевым узлом (АТС), узлом агрегации или точкой присутствия (POP). Каждый такой узел включает в себя необходимое активное оборудование для передачи данных к конечному пользователю, используя оптическое волокно. Каждый сетевой узел в пределах крупных городов или областей подключается к единой волоконно-оптической транспортной сети.

К сети доступа могут быть подключены:

- Фиксированная беспроводная антенная сеть, например, беспроводная LAN или WiMAX
- Базовые станции мобильной связи
- Конечные пользователи, живущие в частных или многоквартирных домах
- Большие здания (школы, больницы, бизнес центры)
- Охранные устройства (камеры наблюдения, устройства охранной сигнализации)

Сеть FTTH может быть частью сети доступа.

2.1 Место развёртывания сети FTTH

Задача подключения конечного пользователя по волокну может потребовать наличие волоконно-оптической инфраструктуры, расположенной в местах общего или частного пользования.



Рисунок 1: Тип развёртывания сети FTTH

Физически среда развёртывания сети FTTH может быть разделена на:

- Город
- Коттеджный посёлок
- Сельская местность
- Типы зданий и населённость – частные или многоквартирные дома

Необходимо учитывать, что физическая среда развёртывания сети зависит не только от различной плотности застройки (на км²), но и от специфических условий (типов) застройки.

Именно эти типы застройки являются ключевым фактором выбора архитектуры сети. Определены следующие типы застройки:

- **Greenfield** – новостройки, где развёртывание сети будет происходить одновременно со строительством домов
- **Browfield** – здания уже построены, но имеют устаревшую кабельную инфраструктуру
- **Overbuild** - здания уже построены и имеют современную кабельную инфраструктуру

На метод развёртывания инфраструктуры сети также влияют:

- Месторасположение сети FTTH
- Размер сети FTTH
- Первоначальная стоимость строительства инфраструктуры сети (CAPEX)
- Текущие расходы на эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание сети (OPEX)
- Архитектура сети, например, PON или активный Ethernet
- Местные условия, к примеру, уровень оплаты труда, и т.п.

Выбор метода и технологии развёртывания сети будет определять CAPEX и OPEX в равной степени, как и надёжность всей сети. Эти средства могут быть оптимизированы путём выбора наиболее подходящего решения для определения типа активного оборудования в комбинации с наиболее подходящими способами строительства сети. Эти способы описаны далее и включают в себя:

- Использование стандартных оптических кабелей и каналов кабельной канализации
- Использование технологии пневмопрокладки волокон в микротрубках
- Использование кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт
- Использование кабелей, подвешиваемых на опорах
- Использование других «нетрадиционных» методов прокладки кабелей

Ключевые функциональные требования к сети FTTH:

- Обеспечить высокоскоростную передачу данных к каждому абоненту
- Обеспечить гибкость архитектуры сети для возможного усовершенствования в будущем
- Обеспечить прямое подключение каждого абонента к активному оборудованию через волокно, гарантируя максимально возможную ёмкость для добавления новых услуг в будущем.

При проектировании и строительстве сетей FTTH необходимо понимать взаимоотношения между владельцами сетей и операторами, во избежание возникновения каких-либо конфликтов из-за функциональных или экономических требований.

2.2 Архитектура сети FTTH

Наибольшее распространение получили два способа (топологии) организации сети доступа FTTH – «точка-много точек» на базе пассивной оптической сети PON и «точка-точка», которая обычно использует Ethernet технологии.

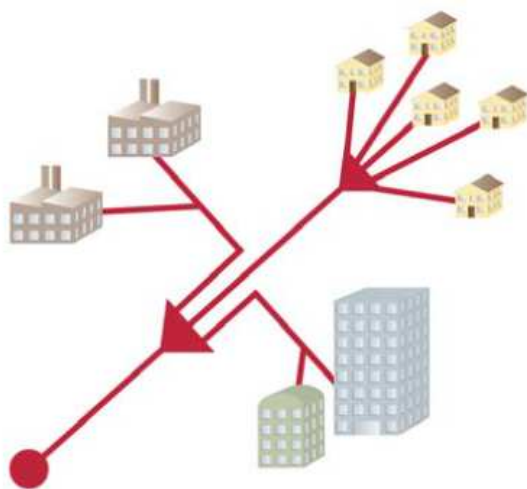


Рисунок 2: Пассивная оптическая сеть

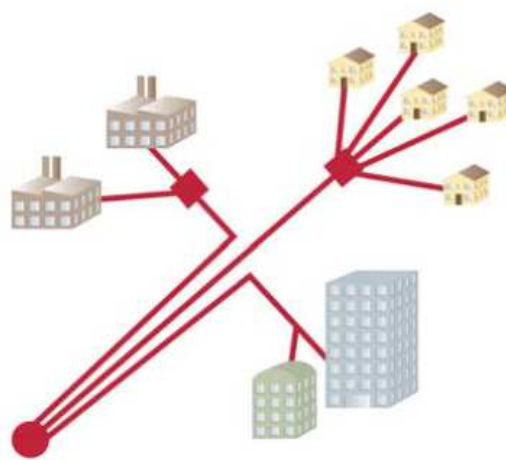


Рисунок 3: Активный Ethernet

В топологии «точка-точка» для распределения оптического сигнала используются активные сетевые устройства (коммутаторы, маршрутизаторы, мультиплексоры), в результате чего трафик, исходящий из оборудования, расположенного в точке присутствия (POP), направляется непосредственно тому пользователю, которому он адресован. Другими словами, в этом случае имитируется оптическое соединение «точка - точка». Наибольшее распространение в таких сетях получил протокол Ethernet, а сами сети стали называться «активными оптическими Ethernet-сетями» или активным Ethernet. Такая топология может также включать в себя технологии PON путём размещения пассивных оптических разветвителей (сплиттеров) в точке доступа.

Топология «точка - много точек» с пассивными оптическими разветвителями использует стандартизированные технологии PON: GPON, широко развивающаяся в Европе; и EPON, наиболее популярная в Азиатских странах.

2.3 Технологии

Существует несколько технологий построения сетей доступа:

Волокно до абонента (FTTH) – каждый абонент подключается по отдельному волокну напрямую к порту активного оборудования, расположенного на сетевом узле; или подключается к порту активного оборудования через пассивный оптический разветвитель в случае использования топологии «точка – много точек».

Волокно до здания (FTTB) – каждый оптический распределительный бокс (обычно размещаемый в подвале или на чердаке здания) подключается по волокну напрямую к порту активного оборудования, расположенного на сетевом узле; или подключается к порту активного оборудования через пассивный оптический разветвитель. Абонент подключается к боксу (коммутатору) не с помощью волокна, а с помощью медножильной вертикальной разводки. В некоторых случаях коммутатор не подключается индивидуально к сетевому узлу,

а подключается к транспортной сети или кольцу для использования существующих волокон стандартных топологий. Такое решение также уменьшает количество волокон и портов на сетевом узле.

Волокно до шкафа (FTTC) – каждый коммутатор или DSL мультиплексор (DSLAM) размещается в шкафу наружной установки и подключается к сетевому узлу с помощью одного или пары волокон, передающих агрегированный трафик с использованием технологий Gigabit Ethernet или 10 Gigabit Ethernet.

Абоненты подключаются к шкафу с помощью медножильных кабелей, при этом коммутация выполняется с помощью трансиверов 100BASE-BX10, 1000BASE-BX10 или VDSL2. Такую архитектуру иногда называют «Активный Ethernet», поскольку элементы активного оборудования размещаются в точках, удалённых от сетевого узла.

Однако, в Руководстве будут отображаться методы построения сетей FTTH/V, поскольку в течении долгого времени эти технологии рассматривались как целевые из-за их неограниченной возможности модульного наращивания в рамках унифицированной архитектуры.

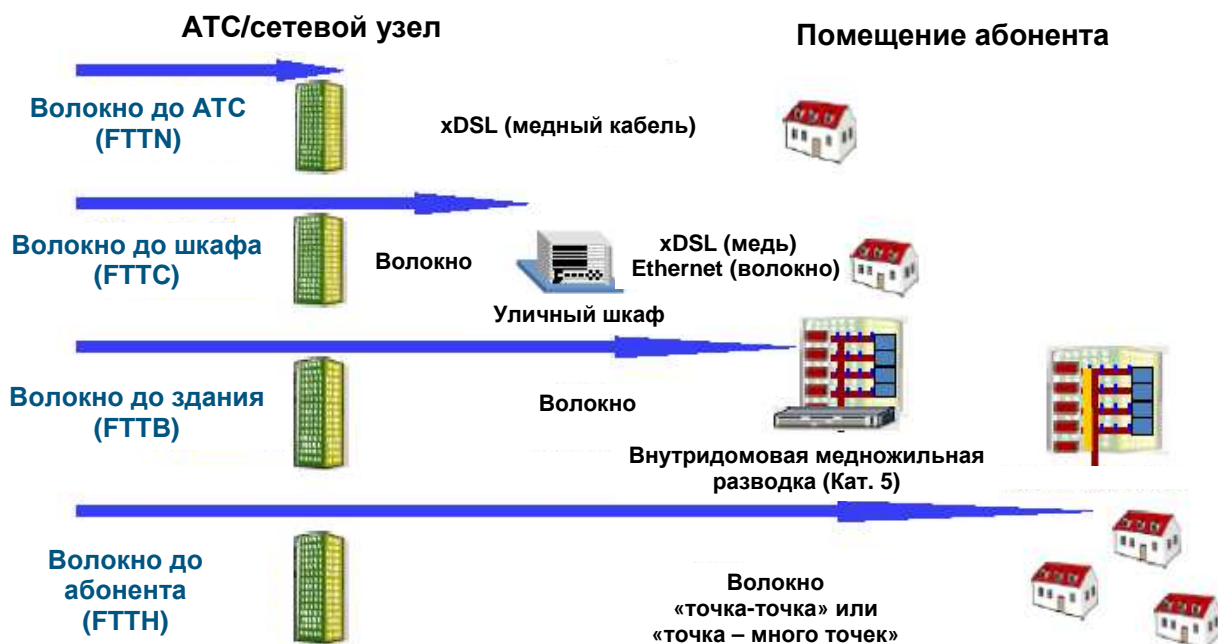


Рисунок 4: Различные технологии сетей FTТх

3 Планирование сети

Крупные инвестиции требуют тщательного планирования для минимизации финансовых рисков. Хорошо спланированная сеть – это также ключ к сокращению расходов и увеличению средней прибыли из расчёта на одного подключенного пользователя.

Планирование является частью подготовки к процессу развёртывания сети FTTH. Существует три отдельные фазы:

- **Стратегическое планирование сети** включает два этапа. Первый – это принятие решения по поводу целесообразности развёртывания сети и определение ширины зоны развёртывания. Второй – это определение способа построения, типа кабеля и технологии использования кабельной канализации.
- **Планирование сети высокого уровня** – это фаза, когда принимаются структурные решения для определённой географической территории планирования. Структурные решения включают в себя определение точек расположения основных элементов сети, а также предварительный расчёт стоимости используемых материалов.
- **Детальное планирование сети** – это конечный этап планирования, когда создаётся проектная документация, которая может передаваться строительным компаниям.

В целом, три фазы процесса планирования идут последовательно одна за другой. Однако, некоторые изначальные решения могут потребовать пересмотра. Например, предполагаемое размещение сетевого узла или точки присутствия (POP) может поменяться после составления детальных планов. В таких случаях очень важно вернуться к ранним этапам планирования и пересмотреть первоначально принятые решения.

3.1 Основа для планирования – это база данных

Чтобы создать хороший план сети, каждое решение должно основываться на надёжной информации. Поэтому, очень важно иметь точные исходные данные, особенно картографические данные обозначенной зоны развёртывания сети.

Эта информация может использоваться программными средствами (инструментами) для моделирования различных топологий сети для выбора оптимального варианта построения сети.

Тип и точность требуемых данных будут меняться в зависимости от этапа планирования. Наиболее важные данные для планирования сети можно разделить на три категории:

- картографические данные
- данные по характеристикам активного и пассивного оборудования
- данные по стоимости активного и пассивного оборудования

3.1.1. Картографические данные

Необходимо учитывать географические особенности зоны развёртывания сети на всех фазах проведения планирования:

- топология города, включая тротуары, подземные переходы и т.п.;
- местоположение зданий и, в идеальном случае, количество квартир потенциальных абонентов и/или офисов, предприятий.

Типичные картографические данные городов можно получить из базы данных больших географических информационных систем (ГИС), которые также используются для автомобильных навигационных систем. Кроме того, подробные карты городов размещены на специализированных интернет сайтах, например: <http://maps.google.com>, или www.openstreetmap.org.



Рисунок 5. Пример карты из OpenStreet Map («Открытая Карта Города»). © OpenStreet Map contributors, CC-BY-SA

Данные по районам или адресный список жилых домов можно получить в соответствующих органах местной власти. Сложнее получить информацию о количестве жилых помещений потенциальных абонентов. Как правило, при этом необходимо посетить каждое здание и определить количество жилых помещений. Можно повысить точность результатов планирования, используя дополнительные данные, например:

- Тип покрытия автомобильных дорог и тротуаров может помочь определить затраты на земляные работы.
- Наличие действующей линейно-кабельной инфраструктуры (например, существующая кабельная канализация с незанятыми каналами) помогает уменьшить расходы на развёртывание сети FTTH.
- Информация об инфраструктуре города – газопровод, электричество – может использоваться для определения возможных трас прокладки, где вероятно всего будет разрешено проводить земляные работы.
- Подходящее месторасположение сетевого узла (POP) или точки распределения волокон (FCP).

Такие дополнительные данные получить достаточно сложно. Поэтому на раннем этапе можно опустить некоторую детальную информацию и рассматривать её как приблизительно точную. Более подробные данные требуются на поздних этапах планирования, но для принятия лучших стратегических решений высокого уровня следует собрать высококачественные данные на ранних этапах.

Для подробного планирования сети требуется как можно больше информации, поэтому стоит уделить внимание проверке полученных данных, например, используя изображения со спутника или с помощью обследования места проведения работ.

3.1.2 Спецификация оборудования для строительства сетей

Оборудование и устройства, которые используются в развёртывании сети FTTH, описываются в других главах данного Руководства. Очень важно детально рассматривать возможные типы оборудования даже на ранних этапах процесса планирования, так как детали могут значительно влиять на оптимальную топологию сети – и следовательно на стратегическое планирование.

Оборудование включает в себя активные компоненты (например, коммутаторы сети Ethernet, OLTs и оптические терминалы PON) и пассивные компоненты (например, оптические распределительные панели (ODF), волоконно-оптические муфты, PON сплиттеры, каналы кабельной канализации или системы микроканалов, кабели и волокна, оптические пассивные оконечные устройства).

Начиная со спецификаций оборудования, необходимо определить ряд правил, которые определяют каким образом может использоваться оборудование и в какой конфигурации сети:

- какие кабели и каналы могут использоваться при строительстве линии связи на магистральном и распределительном сегментах;
- какое оборудование (например, сплиттеры) можно установить в зданиях, распределительных точках или точках присутствия (POP);
- какие измерения необходимо провести до активации услуг.

3.1.3 Затраты

Одной из главных задач планирования является определение денежных затрат в рамках определённых ограничений и требований. Необходимо чётко понимать какие расходы потребуются на развёртывание и ввод в эксплуатацию сети FTTH:

- затраты на рабочую силу для проведения строительных работ;
- материальные затраты на каждый вид оборудования;
- стоимость работ по монтажу, тестированию и подключению;
- расходы по техническому обслуживанию сети;
- энергозатраты активного оборудования;
- расходы, связанные со строительством и обслуживанием сетевого узла POP и точки концентрации волокон FCP.

Выделяют капитальные (CAPEX) и текущие эксплуатационные (OPEX) расходы.

3.2 Механизм планирования сети: инструменты

Раньше планы сети создавались вручную, изображая объекты на картах и затем использовались Системы автоматизированного проектирования (САПР). Однако, планирование делалось только вручную, следовательно затрачивалось много времени и вероятны были ошибки. Ранние этапы процесса планирования часто игнорировались или рассматривались только теоретически. Планировщик сразу концентрировал внимание на фазе детального планирования.

Недостатком данного подхода было также то, что план почти не имел интеллектуальной базы данных о компонентах сети, в результате этого нерационально было использовать эти планы на более поздних этапах планирования сети (например, для технического обслуживания).

На сегодняшний день все эти проблемы решены благодаря Географической информационной системе (ГИС). Программа связывает объекты на карте с базой данных, таким образом отслеживая всю информацию о компонентах сети.

Инструменты планирования сети FTTH делают процесс проектирования более эффективным не только по времени (благодаря автоматизации), но также и по качеству планирования сети (посредством специально разработанных моделей

данных) и по уровню оптимизации планов (используя рациональные оптимизационные алгоритмы).

3.3 Стратегическое планирование сети

Главные решения принимаются на этом первом этапе планирования. Ключевой вопрос заключается в том, чтобы определить стоит ли инвестировать в сеть ФТТН. Для ответа на этот вопрос проектировщику необходимы:

- точные данные по расходам не только на развёртывание сети, но также на активацию абонентов и обслуживание сети;
- несколько реалистичных прогнозов относительно количества потенциальных абонентов сети.

Очень важно проводить анализ затрат на основе реальных данных, потому что между разными географическими районами могут быть большие различия – даже между районами с одинаковой плотностью населения. По возможности следует избегать экстраполяцию и эталонный анализ.

Если принято решение приступить к реализации проекта, то сразу возникают дополнительные вопросы:

- В каком районе будет развёртывание сети? (определить географические границы проекта).
- Какой порядок развёртывания подзон сети? (определить географическое расположение).
- Какие методы и технологии будут использоваться? (определить правила, компоненты, технологии).

3.3.1 В какой местности будет проводиться развёртывание сети?

Можно определить место развёртывания сети ФТТН только при сравнении показателей расходов и прибыли для разных районов. Частные инвесторы делают акцент на финансовый результат, а государственные инвесторы должны обслуживать одинаково всех потенциальных абонентов, рассматривая развёртывание в масштабе всей страны. В идеальном варианте нужно учитывать коммерческие интересы и возможность обслуживания абонентов.

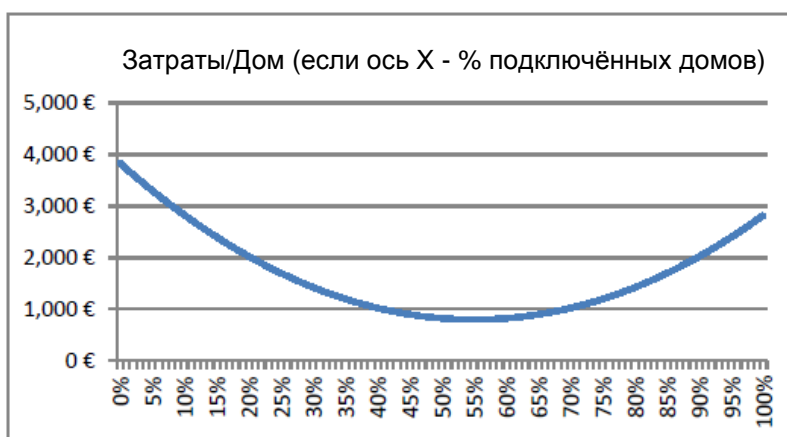


Рисунок 6: Характерный рост затрат на один жилой дом в зависимости от количества подключённых домов

Исследовано, что средние затраты на один подключённый дом изменяются в зависимости от процента подключения всех домов на определённой территории, как показано на Рисунке 6. Однако, географическое распределение зданий и количество квартир в здании могут значительно влиять на определение процентных показателей (в данном примере 60%), при которых возможно получить наименьшие затраты.

3.3.2 Какой порядок развёртывания подзон сети?

Когда проект ФТТН охватывает большой географический район, то строительство может длиться несколько лет. Чем больше временные рамки развёртывания, тем важнее определить оптимальный порядок развёртывания сети в группе подзон. Выбор порядка развёртывания обычно основывается на определении стоимости затрат и доходов.

3.3.3 Какие методы, компоненты и технологии будут использоваться для построения сети?

Существует много возможных технологий и компонентов для построения сетей ФТТН. Наиболее рентабельный вариант можно определить только при применении различных технологий для каждой отдельно взятой реальной местности, и затем при сравнении итоговых результатов. Для каждого отдельного проекта будут подобраны свои технологии в зависимости от географических особенностей местности, местных нормативных требований, состояния рынка и многих других факторов.

Во многих случаях рассматриваются не только показатели расходов. Чтобы принять правильные решения на раннем этапе, очень важно провести всесторонний анализ различных вариантов. Важную роль играют такие аспекты, как качество предоставляемых услуг, ширина полосы пропускания и надёжность сети.

Могут рассматриваться такие возможные варианты:

- Различные способы построения сети (“x” в аббревиатуре ФТТх, см. Раздел 2);
- Различные технологии (пассивная оптическая сеть (PON), «точка-точка», гибридная сеть, см. Раздел 4);
- Разные уровни концентрации волокон (см. Раздел 6);
- Разнообразные методы прокладки кабеля (микрокабели, стандартная прокладка кабеля, см. Раздел 8);
- Различные типы сплиттеров (см. Раздел 6);
- Разные методы внутридомовой разводки кабеля (см. Раздел 7).
- Возможные принципы совместного использования линейно-кабельной инфраструктуры сети (см. Раздел 5).

3.4 Планирование сети высокого уровня

После определения границ территории развёртывания сети необходимо перейти к принятию решений относительно структуры сети. Данный этап планирования включает в себя оценку ожидаемого инвестирования, решения по месту расположения POP и FCP) и определение номенклатуры материалов.

Планирование сети высокого уровня основывается на результатах фазы стратегического планирования и имеет такую исходную информацию:

- Определение области планирования
- Бюджет

- Структура (пассивная оптическая сеть (PON), «точка-точка», гибридная сеть)
- Способ прокладки кабеля
- Принцип подключения зданий (количество волокон на одно здание и т.п.).

3.4.1 Где будут размещены сетевые узлы POP?

Для комплексного планирования проектировщик должен определить количество точек размещения POP, где будут расположены оптические распределительные панели (ODF) и активное оборудование. Если используются несколько POP, проектировщик должен определить каких абонентов обслуживает данный сетевой узел.

Как правило, нет определённого правила, которое бы указывало сколько пользователей может обслуживаться каждым сетевым узлом POP. Обычно, чем больше абонентов обслуживается одним POP, тем больше экономии в энергозатратах и обслуживании.

Для небольших участков сети, где возможно размещение только одного сетевого узла POP, его местоположение выбирается из заранее выбранной группы возможных вариантов, которые зависят от количества зданий, располагающихся в зоне обслуживания оператора данного участка.

3.4.2 Какое количество точек распределения волокон (FCP)?

При планировании сети высокого уровня важно определить место размещения точек FCP. Проектировщик должен определить количество пользователей, подключаемых к каждой FCP и выбрать решение по организации волокон.

3.4.3 Какие трассы прокладки линейных и распределительных кабелей будут использоваться?

Необходимо определить трассы прокладки кабелей между сетевыми узлами (POP), точками распределения волокон (FCP) и помещениями абонентов.

Земляные работы, прокладка каналов кабельной канализации или строительство новой канализации требует больших капиталовложений, поэтому выбор оптимальных трас прокладки кабелей является одним из важнейших вопросов при проектировании сети. Следует максимально возможно использовать существующую линейно-кабельную инфраструктуру (например, существующие каналы кабельной канализации), чтобы не прибегать к земляным работам и следовательно минимизировать затраты.

3.4.4. Какая ожидаемая стоимость необходимых материалов?

После определения трас прокладки необходимо выбрать типы оптических кабелей и способы их прокладки. Вместе с требованиями к оборудованию (муфтам, сплиттерам, активному оборудованию и т.д.) данная информация может использоваться при составлении конкретных спецификаций материалов для определения количества и стоимости необходимого оборудования.

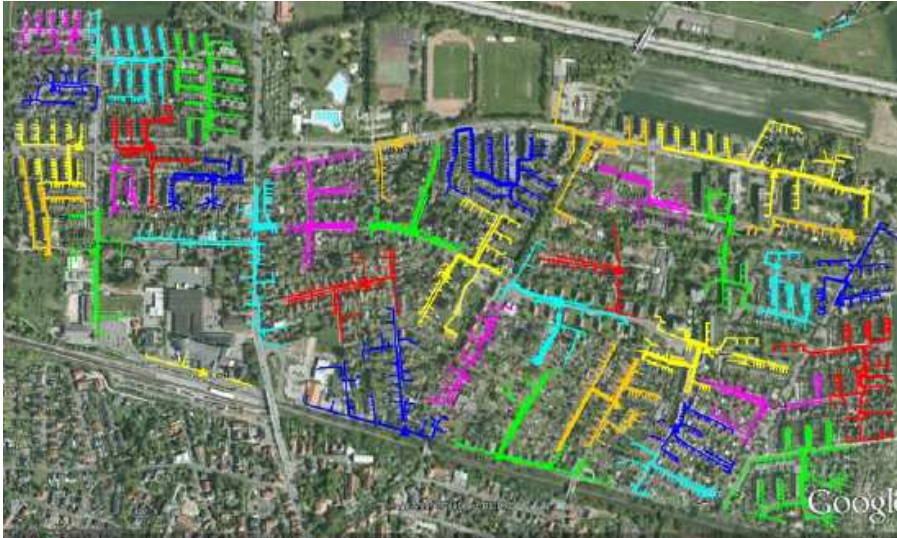


Рисунок 7: Пример высокоуровневого планирования – разными цветами отмечены участки распределения кабелей

3.5 Детальное планирование сети

На этом этапе все результаты, полученные из высокоуровневого планирования, переносятся в проектную документацию.

При высокоуровневом планировании создаётся общая схема сети (без детального описания). При детальном планировании создаётся схема сети, которая должна быть достаточно точной с подробной детализацией всех участков.

3.5.1 Подробные данные

Вся информация, которая использовалась на предыдущих этапах проектирования, должна учитываться при детальном планировании сети, например, картографические данные (улицы, здания, адреса абонентов), а также спецификации материалов и комплектующих.

Структурные решения, которые формируются на этапе высокоуровневого планирования, должны использоваться в качестве исходных данных, включающих в себя:

- Количество и географическое расположение сетевых узлов POP и точек распределения волокон FCP
- Зоны обслуживания каждой POP и FCP (отмечены разными цветами на Рисунке 7)
- Трасса прокладки кабеля.

Кроме того, необходимо знать точную спецификацию оборудования (с подробным описанием технических характеристик) для строительства сети (кабелей, кабельных каналов, оптических волокон и волоконно-оптических разъёмных соединений), чтобы избежать возможной несовместимости их характеристик при проектировании и строительстве. Например:

- цветовая маркировка системы микроканалов
- совместимость выбранных типов коннекторов (коннектор с угловым физическим контактом APC не может сочетаться с контактом PC)
- совместимость сращиваемых оптических волокон, в том числе сращивание волокна стандарта G.652D с волокном стандарта G.657B.

3.5.2 Создание проектной документации

На этапе детального планирования сети формируется рабочая документация, которая включает в себя:

- Маркировку каждого устанавливаемого компонента сети на схеме
- Определение типов и нумерация кабельных каналов
- Детальную трассу прокладки распределительных кабелей и кабелей абонентской разводки
- Детальную схему сращивания волокон с определением нумерации и цветовой маркировки: в оптических панелях (ODF), в точках распределения волокон (FCP), в оптических муфтах. На Рисунке 8 представлено графическое изображение всех соединений волокон внутри оптического пассивного распределительного устройства (например, в муфте).

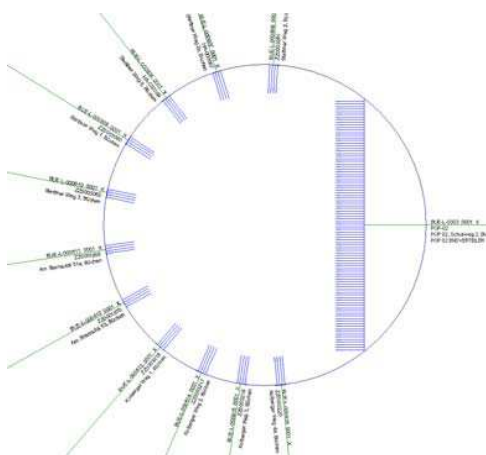


Схема размещения волокон без сращивания

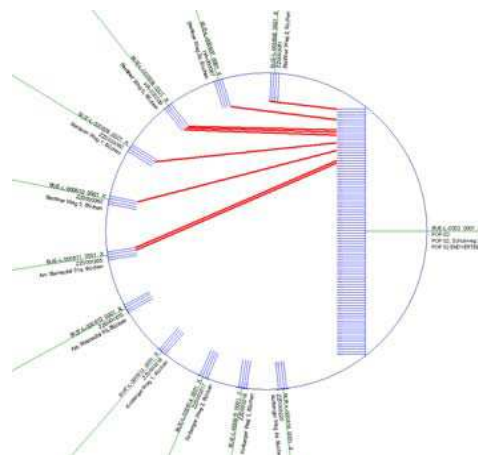


Схема сращивания волокон

Рисунок 8. Схема сращивания волокон в распределительном устройстве

3.5.3 Документация

Построенная сеть не всегда совпадает с проектом. Если во время строительства делаются корректировки плана, необходимо вносить эти изменения в так называемую исполнительную документацию, которая включается в общую проектную документацию после завершения строительно-монтажных работ.

Исполнительная документация содержит информацию:

- название и адрес компании, выполняющей строительно-монтажные работы;
- руководство по прокладке кабеля;
- отсканированные разрешения на проведение строительно-монтажных работ в соответствии с законодательством;
- производитель кабеля.

Ниже указанные документы для каждого подключённого дома должны включаться в общую документацию:

- разрешение от домовладельца;
- протоколы доступа;
- тестовые (контрольные) данные и результаты измерений.

3.5.4. Управление производственным процессом

После завершения всех этапов планирования начинается процесс строительства, который включает в себя:

- подготовку каналов кабельной канализации;
- прокладку кабеля (пневмопрокладка или затягивание вручную);
- сращивание волокон;
- измерение оптических характеристик;
- активацию услуг.

Эти этапы должны быть включены в общую проектную и исполнительную документацию.

4 Активное оборудование

Пассивная оптическая сеть (PON) и технологии Ethernet «точка-точка» были развёрнуты по всему миру. Выбор той или иной технологии зависит от многих факторов, включая демографическую ситуацию и географическое расположение сети, специфические параметры развёртывания, капиталовложения и т.п. В частности, выбранное решение в большой степени зависит от лёгкости построения пассивной инфраструктуры сети. При этом ясно, что на современном рынке телекоммуникаций обе технологии являются приемлемыми.

В многоквартирных домах подключение конечных пользователей к внутридомовому коммутатору может выполняться с помощью медножильного кабеля или оптического волокна. Однако волокно является только альтернативным решением, которое гарантирует выполнение требований по увеличению пропускной способности в будущем. В некоторых решениях предоставляется второе волокно для передачи видеосигнала; в других случаях к абоненту подводится несколько волокон (от 2 до 4), чтобы иметь конкурентное преимущество и возможность развития в будущем.

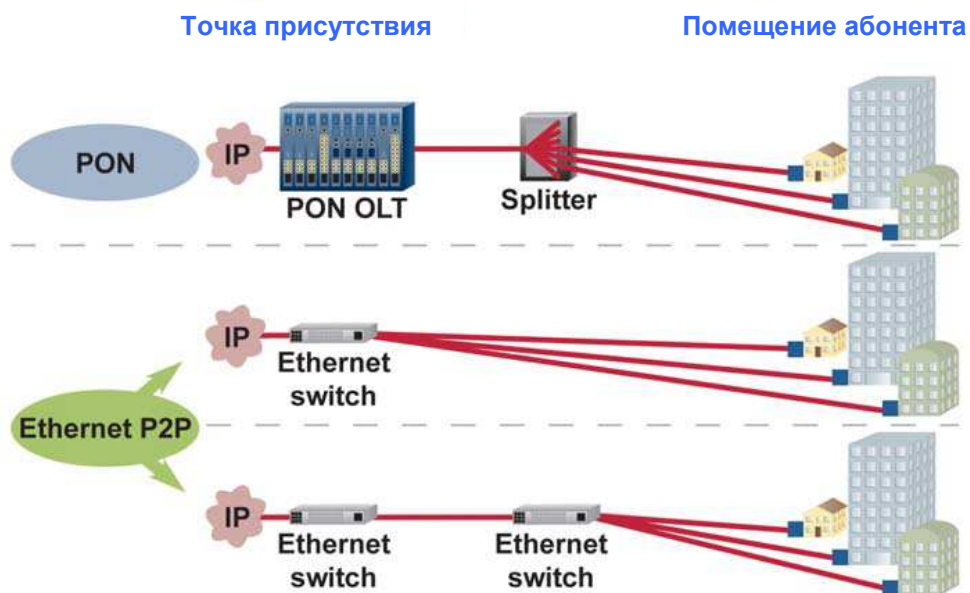


Рисунок 9: Различные архитектуры сети FTTH

4.1 Пассивная оптическая сеть

Оборудование пассивной оптической сети (PON) включает в себя оптический терминал OLT (*optical line terminal*), который располагается на сетевом узле/точке присутствия (POP) или на АТС. Каждое волокно из сетевого узла направляется к пассивному оптическому сплиттеру, и затем выполняется разветвлённое подключение до 64-х конечных пользователей, каждый из которых имеет оптический сетевой модуль ONU (*optical network unit*) в точке оконечивания волокна.

Модуль ONU может быть различных типов, включая версию для размещения внутри зданий, которая применяется для подключения большого количества абонентов; либо объединяющую в себе существующую кабельную инфраструктуру (CAT5/Ethernet).

Преимущества сетей PON – это уменьшение числа волокон, прокладываемых между АТС и сплиттерами, отсутствие активного оборудования между OLT и ONU, возможность динамического распределения пропускной способности, что приводит к уменьшению капитальных и операционных затрат.

Важно заметить, что последняя часть сети, расположенная между последним сплиттером и конечным пользователем, является точно такой же, как и для решений «точка-точка» или PON: каждый подключаемый абонент будет соединён с помощью одного (или более) волокон с точкой расположения последнего сплиттера, называемой точкой концентрации волокон FCP (*fiber concentration point*) или FFP (*fiber flexibility point*). При этом единственная особенность сетей PON – это то, что количество волокон между FFP и сетевым узлом POP может быть со временем значительно увеличено. Это особенно касается зданий, имеющих устаревшую кабельную инфраструктуру, где ресурсы построенной сети (неподключенные волокна и/или свободное место в кабельных каналах) может быть использованы, при этом экономя средства и время развёртывания сети.

4.1.1 Технологии PON

Существует несколько технологий PON.

Организация FSAN (*full service access network*) разработала общие рекомендации и требования к оборудованию, которые в последствии были приняты Международным союзом электросвязи (ITU) как стандарты. Эти стандарты включали в себя технологии APON, BPON, GPON и XG-PON.

Технология GPON обеспечивает скорость передачи прямого потока 2,5 Гбит/с и скорость передачи обратного потока 1,25 Гбит/с, позволяя подключить до 64 конечных пользователей.

Технология XG-PON обеспечивает скорость передачи прямого потока 10 Гбит/с и скорость передачи обратного потока 2,5 Гбит/с, позволяя подключить до 128 конечных пользователей.

В 2004 году институт IEEE (*Electrical and Electronic Engineers*) представил альтернативный стандарт, называемый EPON, позволяющий обеспечить скорость передачи 1 Гбит/с в обоих направлениях. При этом оборудование EPON позволяло обеспечить скорость передачи прямого потока 2 Гбит/с. В сентябре 2009 года институт IEEE принял новый стандарт 10G-EPON, позволяющий обеспечить скорость передачи 10 Гбит/с в обоих направлениях.

Тенденции развития технологий сетей доступа последние 10 лет были направлены в основном на симметричную скорость передачи данных. Доступ к мультимедийным файлам, пирринговые и мощные файло-обменные приложения, которые используют конечные пользователи, стали толчком к переходу на сети с более высокими скоростями передачи обратных потоков. Однако, сложно представить себе полную симметрию в домашних приложениях из-за огромного значения скорости передачи, требуемой для HDTV и других развлекательных приложений в целом. Кроме того, только высокая скорость передачи обратного потока в сетях PON даёт неоспоримые преимущества операторов FTTH сетей перед DSL или провайдерами кабельного телевидения.

Технология GPON обеспечивает максимальный радиус сети 20 км с оптическим бюджетом 28 дБ, используя оборудование Класса В+ с коэффициентом деления оптического сигнала 1:32. Радиус сети может быть увеличен до 30 км путём

уменьшения коэффициента деления оптического сигнала до 1:16 или путём применения оборудования более высокого класса (C+), которое добавляет 4 дБ оптической мощности сигнала и может увеличить радиус сети до 60 км. Технология 10G-EPON может также обеспечить максимальный радиус сети 20 км с оптическим бюджетом 29 дБ.

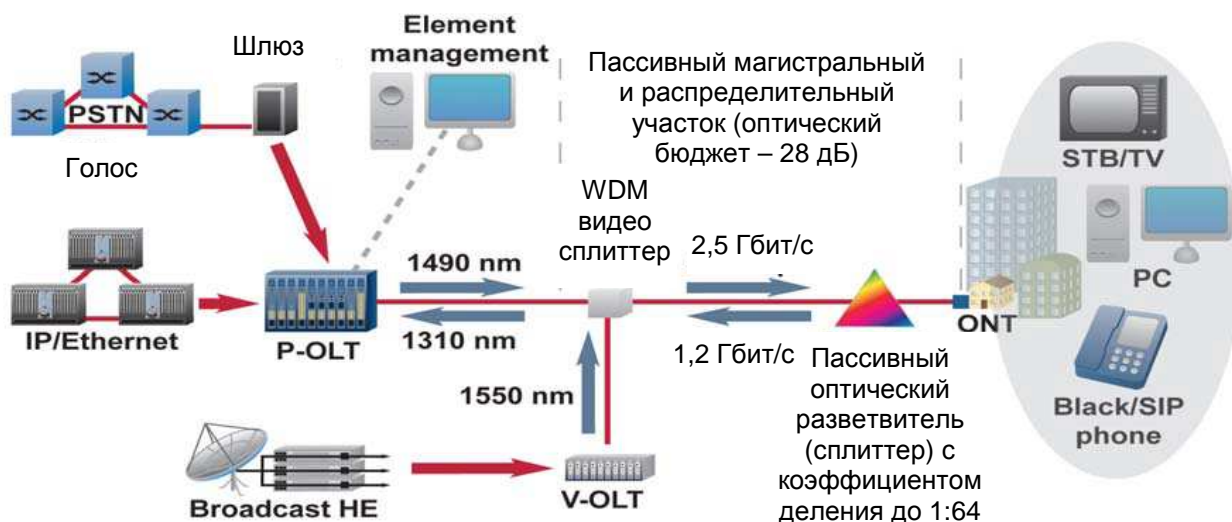


Рисунок 10: Общая схема построения сети GPON

Как опция может использоваться дополнительная длина волны 1550 нм для прямого потока, что позволяет предоставлять традиционные аналоговые и цифровые телевизионные услуги пользователям.

Через какое-то время наступит момент, когда необходимо будет обновить развернутое оборудование PON с появлением новых технологий, позволяющих обеспечить большую полосу пропускания. При этом несколько технологий (GPON и XG-PON) могут работать одновременно, используя те же оптические пассивные элементы сети (волокна, кабели, оконечные и распределительные устройства), но на разных длинах волн.

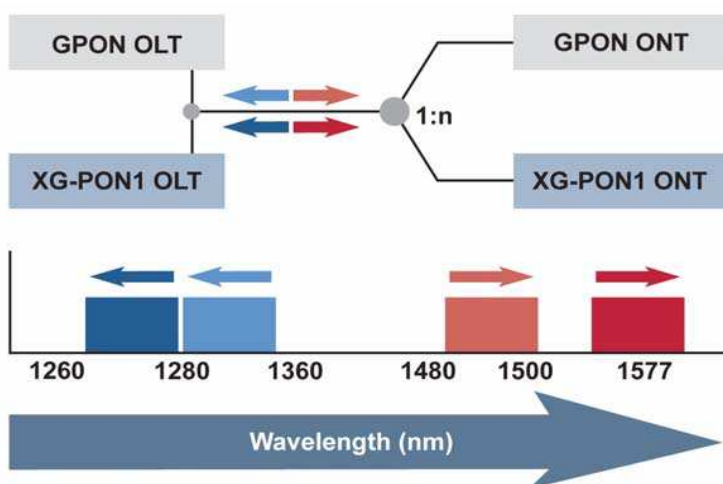


Рисунок 11: Одновременное использование технологий GPON и XG-PON

4.1.2 Активное оборудование PON

Стандартное оборудование PON включает в себя приемопередающий модуль (OLT) и оптические сетевые терминалы (ONU).

Модуль OLT, как правило, размещается на сетевом узле или точке присутствия (POP).

Платы модуля OLT могут управлять до 8 200 конечных пользователей (до 64 пользователей по одному волокну).

Оптические сетевые терминалы (ONU) могут быть различных типов в зависимости от месторасположения:

- Расположение внутри помещений (I-серии)
- Расположение снаружи помещений (O-серии)
- Бизнес применение (B-серии)
- Применение для сетей FTTB.

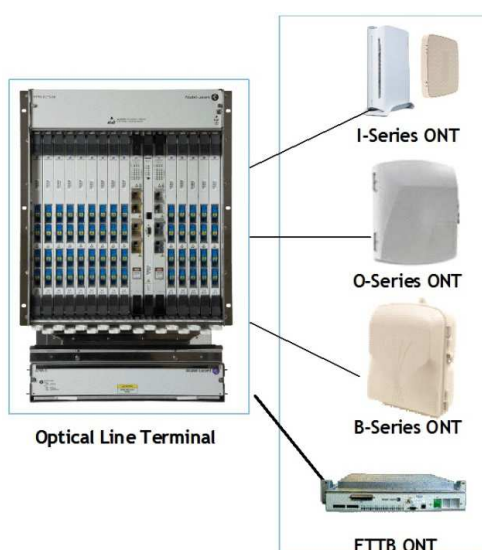


Рисунок 12: Различные типы ONT

В зависимости от применения сетевые терминалы ONU могут обеспечивать аналоговое телефонное соединение (POTS), Ethernet подключение, RF видео, а также, в случае FTTB – VDSL2 или Ethernet подключения.

Согласно рекомендациям института IEEE оборудование на стороне абонента всегда называется ONU, однако в контексте технологий GPON и X-GPON было решено использовать термин ONU как общий, а термин ONT, как непосредственно активное устройство, установленное на стороне одного абонента.

Такое определение не всегда применяется во всех случаях; любое устройство, которое является конечной точкой оптической сети всегда определяется как ONT (*optical network termination*). В этом документе не указаны какие-либо предпочтения по использованию того или иного термина, поэтому оба определения будут использоваться в равной степени в зависимости от их наиболее понятного смысла.

4.1.3 Распределение полосы пропускания

Технологии GPON, EPON, XG-PON и 10G-EPON используют распределение полосы пропускания методом временного мультиплексирования (TDM) - технология цифровой передачи, использующая временное уплотнение каналов для передачи данных и голоса. В данном методе мультиплексирования вся пропускная способность выходного канала предоставляется в течение фиксированных интервалов времени каждому входному каналу. Прямой поток передаётся ко всем абонентским узлам ONU; каждый абонентский узел, читая адресные поля, фильтрует из этого общего потока предназначенную только ему часть информации. В обратном направлении (обратный поток) все ONU путем передачи служебных кадров синхронизируются по единой временной шкале центрального узла OLT. Отправка данных абонентскими узлами осуществляется в разрешенные интервалы времени (тайм-слоты), что позволяет гибко распределять полосу пропускания между абонентами, используя протокол MAC (*Media Access Control*).

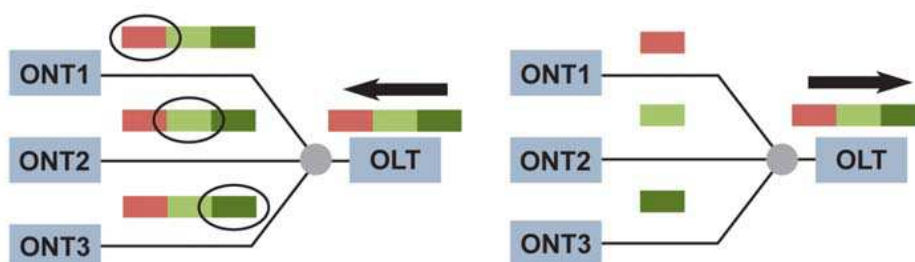


Рисунок 13: Распределение полосы пропускания в системах PON

4.2 Оптимизация развёртывания сетей PON

При развёртывании сетей PON активная и пассивная часть инфраструктуры работают вместе. Понятно, что капитальные вложения в активное оборудование могут быть оптимизированы один раз путём правильного построения пассивной разветвительной части.

При проектировании сети необходимо принять во внимание следующие рекомендации:

- Оптимально использовать активное оборудование – гарантированное использование портов (покрытие) должно превышать 50%
- Наличие гибкой структуры построения магистрального участка, которая позволяет подключить существующих абонентов и позволит подключить новых абонентов в будущем
- Наличие регулирующих требований для сетей доступа следующего поколения (NGA)
- Оптимизация операционных расходов.

Эти рекомендации приводят к возникновению большого количества правил проектирования сети.

Необходимо оптимизировать размещение оптических разветвителей (сплиттеров). В типичном Европейском городе оптимальный размер точки концентрации волокон будет в пределах от 500 до 2000 подключённых домов.

При использовании одноуровневого разветвления, называемого централизованное деление, необходимо определить ёмкость узла, означающую количество подключённых домов. Один из критических факторов в этом процессе

оптимизации – это ёмкость покрытия; обычно стоимость подключения зависит от ёмкости узла, как показано на рисунке ниже.

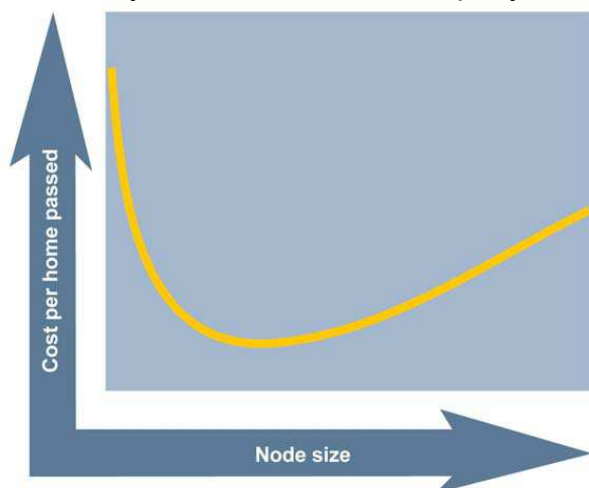


Рисунок 14: Оптимизация ёмкости узла при централизованном делении

На рисунке:

Cost per home passed – стоимость в зависимости от количества подключённых домов

Node size – ёмкость узла

Города состоят из большого количества многоэтажных зданий; некоторые из них имеют несколько квартир, другие сотни. Это также является важным фактором при проектировании сети, поскольку необходимо определить количество сплиттеров, устанавливаемых на входе зданий. Некоторые сети строятся, используя двухуровневую стратегию разветвления, называемую каскадное деление, где, к примеру, сплиттер 1:8 устанавливается в точке концентрации волокон, а другие сплиттеры 1:8 устанавливаются в зданиях. В местах, где расположены многоквартирные здания и индивидуальная застройка, оптимальная ёмкость узла может увеличиваться. В других случаях известно также многоуровневое каскадное деление сигнала.

Сетевой узел Точка концентрации волокон Помещение абонента

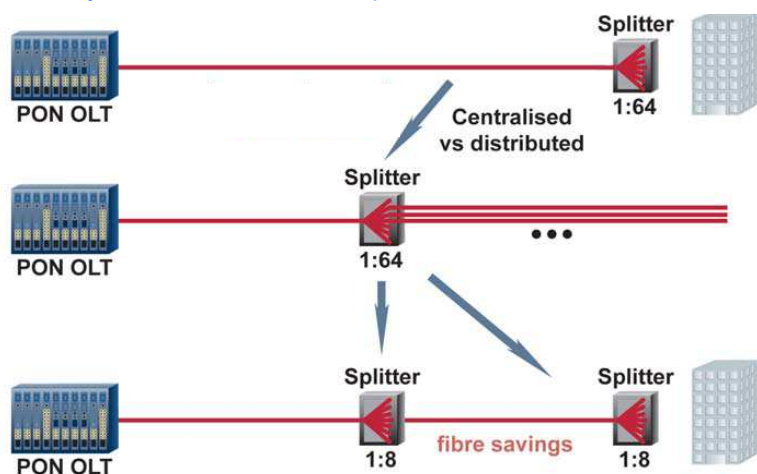


Рисунок 15: Централизованное и каскадное деление в сетях PON

4.3 Ethernet «точка-точка»

Сети Ethernet строятся в основном по схеме, когда каждый абонент, используя одно назначенное волокно, подключается к Ethernet коммутатору, расположенному на сетевом узле POP. Такая схема построения является наиболее простой и открытой.

4.3.1 Решения Ethernet «точка-точка»

Для обычного инженера топология кабельной инфраструктуры для строительства волоконно-оптических решений «точка-точка» может показаться идентичной PON. Однако количество волокон/кабелей между POP и точкой концентрации волокон будет значительно больше, чем в сетях PON.

Линейные оптические кабели, приходящие от сетевого узла POP, подключаются к точке распределения. Эта точка может располагаться как в муфте под землёй, так и в шкафу наружной установки. От точки распределения волокна уходят к конечным пользователям.

Ёмкость линейных кабелей значительно отличается от ёмкости кабелей абонентской разводки, и поэтому возможно, что способы прокладки и монтажа будут отличаться при построении двух участков сети: магистального и абонентского.

При строительстве сети могут использоваться как стандартные каналы кабельной канализации, так и альтернативные системы, к примеру, каналы сточной канализации или туннели.

Волокна, приходящие в сетевой узел POP, оконечиваются в оптическом кроссе (ODF), который представляет собой гибкое решение по организации волокон, позволяющее подключать абонентов к любым портам оптических коммутаторов, установленных на сетевом узле.

Чтобы организовать большое количество волокон в достаточно ограниченном пространстве необходимо иметь компактный оптический кросс высокой ёмкости. На рисунке 16 показан пример такого кросса, который позволяет оконечить и скоммутировать более 2 300 волокон в одном металлоконструктиве. Для примера, на рисунке рядом с оптическим кроссом показана стойка с установленным активным оборудованием, позволяющая подключать до 1 152 волокон (портов).



Рисунок 16: Оптический кросс высокой ёмкости

В проектах FTTH, как правило, происходит постепенное наращивание оптической ёмкости. Организация волокон в оптическом кроссе позволяет наращивать количество активных портов одновременно с подключением абонентов. Это позволяет минимизировать количество неиспользуемых активных элементов на сетевом узле POP.

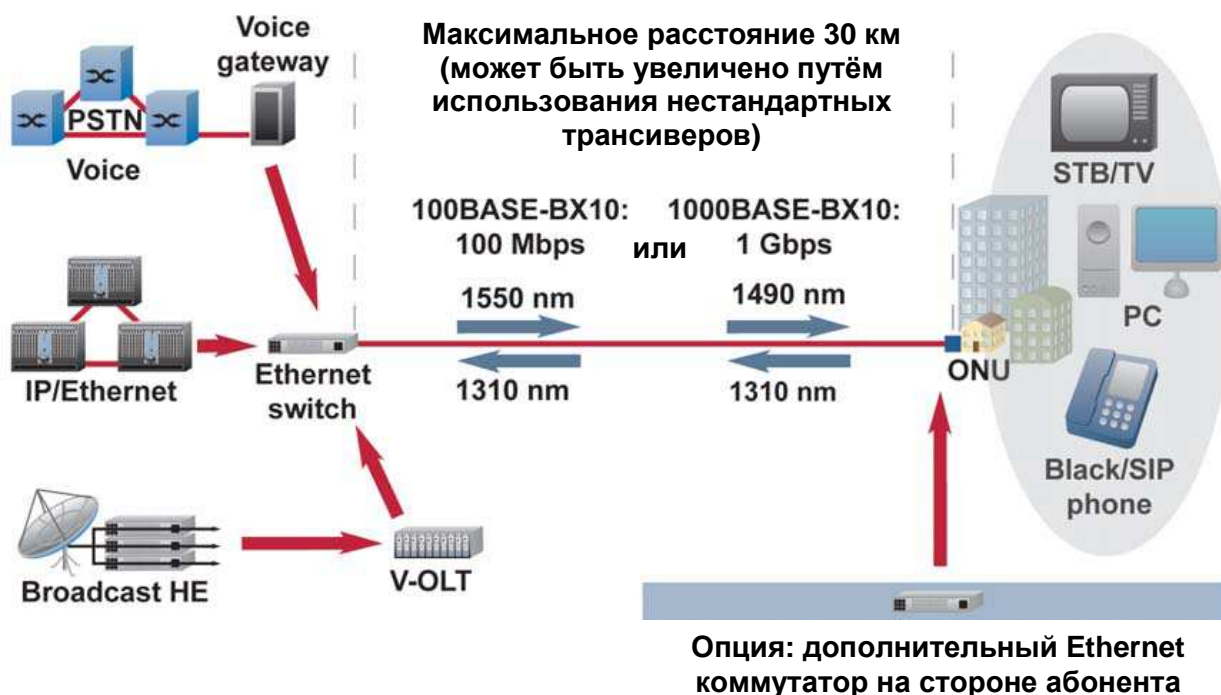


Рисунок 17: Схема построения сети Ethernet

4.3.2 Технологии передачи данных

Когда технология Ethernet взяла на вооружение массу новых стандартов и протоколов, возник резонный вопрос, а почему бы не использовать сети доступа PON на основе все того же стандарта Ethernet. То есть, почему бы помимо GPON не реализовать также EPON (Ethernet PON) в рамках стандарта IEEE 802.3. Для решения этой задачи в 2001 году была создана специальная комиссия EFM (*Ethernet in the First Mile*), получившая также код IEEE 803.3ah. В то время, как разрабатывались стандарты для Ethernet с использованием витых медных пар и EPON, комиссия EFM создала два стандарта для Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, основанных на одномодовом волокне.

Стандарт EFM был утверждён и опубликован в 2004 году, затем был включён в базовый стандарт IEEE 802.3 в 2005 году.

Спецификации для передачи данных по одномодовому волокну называются 100Base-BX10 для Fast Ethernet и 1000Base-BX10 для Gigabit Ethernet. Обе спецификации определяют максимальный радиус сети 10 км.

Для разделения сигналов, передающихся в разных направлениях по одному волокну, используется метод волнового мультиплексирования. Для каждой спецификации определены две скорости передачи данных: одна - для обратного потока (от абонента – к POP), и одна – для прямого потока (от POP – к абоненту). В таблице ниже приведены основные оптические параметры для этих спецификаций:

	100Base-BX10-D	100 Base - BX10-U	1000 Base - BX10-D	1000 Base - BX10-U
Направление передачи	Прямой поток	Обратный поток	Прямой поток	Обратный поток
Номинальная длина волны	1550 нм	1310 нм	1490 нм	1310 нм
Минимальное расстояние	От 0,5 м до 10 км			
Минимальное затухание в канале	5,5 дБ	6,0 дБ	5,5 дБ	6,0 дБ

Для того, чтобы улучшить параметры сети, используются оптические трансиверы с нестандартными характеристиками, которые позволяют, к примеру, значительно увеличить значение минимального расстояния, что очень важно для построения загородных сетей.

Поскольку номинальная длина волны передачи сигналов для спецификации 100BASE-BX-D такая же, как и для передачи видеосигналов в системах PON (1550 нм), существуют трансиверы, которые могут осуществлять передачу на длине волны 1490 нм. Это позволяет использовать имеющееся в наличии видеопередающее оборудование для видеовещания на длине волны 1550 нм по тому же волокну.

4.3.3 Решения для передачи видеосигнала

В сети PON передача данных в прямом канале (от центра к абонентам) осуществляется на длине волны 1490 нм, передача данных в обратном канале (от абонентов в центр) - на длине волны 1310 нм. Длина волны 1550 нм свободна и может быть использована для передачи аналогового видеосигнала 45-870 МГц.

В топологии «точка-точка» предусматривается два подхода к решению задач передачи видеосигнала:

Первый подход предусматривает наличие отдельного волокна для каждого абонента, которое входит в общую «древовидную» структуру и предназначено для передачи видеосигнала от специального оборудования V-OLT на сетевом узле к абонентскому устройству. В свою очередь, абонентское устройство имеет встроенный демультиплексор и оптический узел КТВ с RF портом, к которому подключается внутриквартирная коаксиальная телевизионная сеть. В этом случае коэффициент деления сигнала может превышать значение 1:128, что значительно больше стандартного значения в сетях PON, тем самым уменьшается количество волокон в магистральных кабелях.

Второй подход предусматривает ввод видеосигнала на длине волны 1550 нм в каждое волокно. Видеосигнал передается от оборудования V-OLT на указанной длине волны, разделяется на множественные идентичные потоки с помощью оптического сплиттера, которые

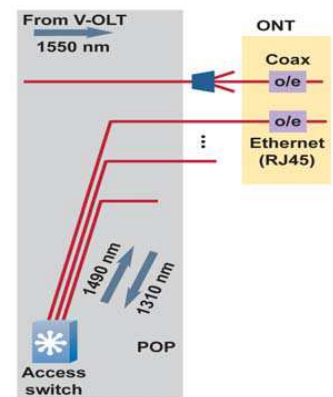


Рисунок 18: Передача RF видеосигнала используя отдельное волокно

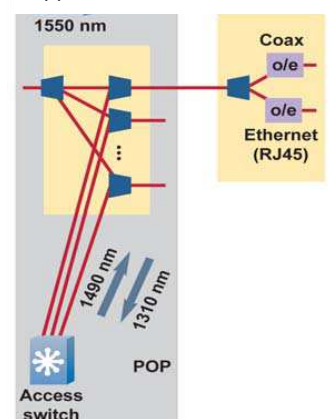


Рисунок 19: Ввод RF видеосигнала в каждое волокно

затем направляются в каждое волокно с помощью триплексеров (телевизионных сумматоров). Длина волны отделяется на стороне абонента и сигнал 1550 нм конвертируется в RF сигнал для передачи по коаксиальному кабелю, при этом сигнал на длине волны 1490 нм поступает на порт Ethernet.

В обоих случаях абонентские устройства CPE/ONU должны включать в себя две отдельные части:

- Медиаконвертер, который принимает оптический видеосигнал на длине волны 1550 нм, и затем конвертирует его в электрический сигнал для передачи по коаксиальному кабелю
- Оптический Ethernet интерфейс в коммутаторе Ethernet или маршрутизаторе.

4.4 Оборудование, устанавливаемое на стороне абонента

В недавнем времени подключение компьютеров к интернету осуществлялось с помощью простых и дешёвых модемов. В наши дни заметно резкое увеличение различных цифровых устройств в доме, включая компьютеры, цифровые камеры, DVD проигрыватели, игровые консоли, и т.п. Наступила эра «цифрового дома».

На стороне абонента устанавливается два отдельных устройства: оптический модуль (ONT), где происходит оконечивание волокна; и абонентское активное оборудование (CPE), которое обеспечивает приём и обработку сигналов, поступающих из сети. Оба эти устройства могут быть отдельными блоками или интегрированы в один общий блок в зависимости от разграничения зон ответственности между поставщиком услуг и конечным пользователем.

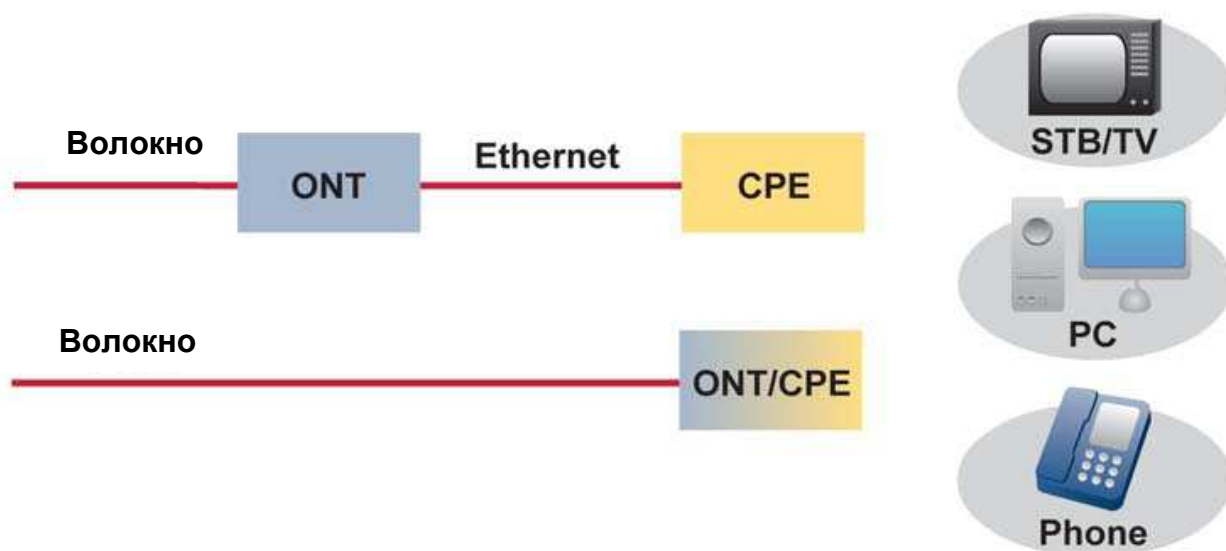


Рисунок 20: Возможные конфигурации оборудования устанавливаемого на стороне абонента

С появлением новых, более современных технологий и устройств возникла концепция абонентского устройства. CPE теперь позволяет комбинировать широкий диапазон различных возможностей сети, включая такие опции и услуги, как оконечивание волокон, маршрутизация, беспроводной LAN (Wi-Fi), трансляция сетевых адресов NAT (*Network Address Translation*), охранные и пожарные системы, а также возможность поддержки услуг VoIP и IPTV.

Существует два сценария выбора абонентского устройства поставщиками услуг:

- **СРЕ, как граница разделения зон ответственности абонента и поставщика услуг.** СРЕ является частью оборудования, поставляемого оператором. СРЕ выполняет функции оконечивания входящего волокна и подключает абонента к предоставляемым услугам. Поставщик услуг является собственником устройства СРЕ, осуществляет его техническое обслуживание, а также контролирует качество передаваемых услуг, включая контроль пассивной части сети. Абонент подключает свою домашнюю сеть и устройства напрямую к СРЕ.
- **Сетевой интерфейс, как граница разделения зон ответственности абонента и поставщика услуг.** ONT поставляется и обслуживается оператором, при этом Ethernet порты в модуле ONT являются границей зоны ответственности оператора. Абонент сам подключает свою сеть или специфичные устройства к портам ONT.

Типичная ситуация, когда используется второй сценарий – это открытая или общая сеть доступа, где существуют различные операторы, которые подключают абонента к сети и предоставляют услуги. Оператор, подключающий абонента к сети, отвечает только за оконечивание волоконно-оптической линии, но не за предоставление каких-либо услуг, например, телефонии или видео. Такие услуги предоставляет другой оператор.

4.5 Развитие технологий

4.5.1 Тенденции развития широкополосной сети доступа

Ожидается рост требований к полосе пропускания сетей доступа в геометрической прогрессии, при этом уже в скором будущем требование к скорости передачи достигнет значения 100 Мбит/с.

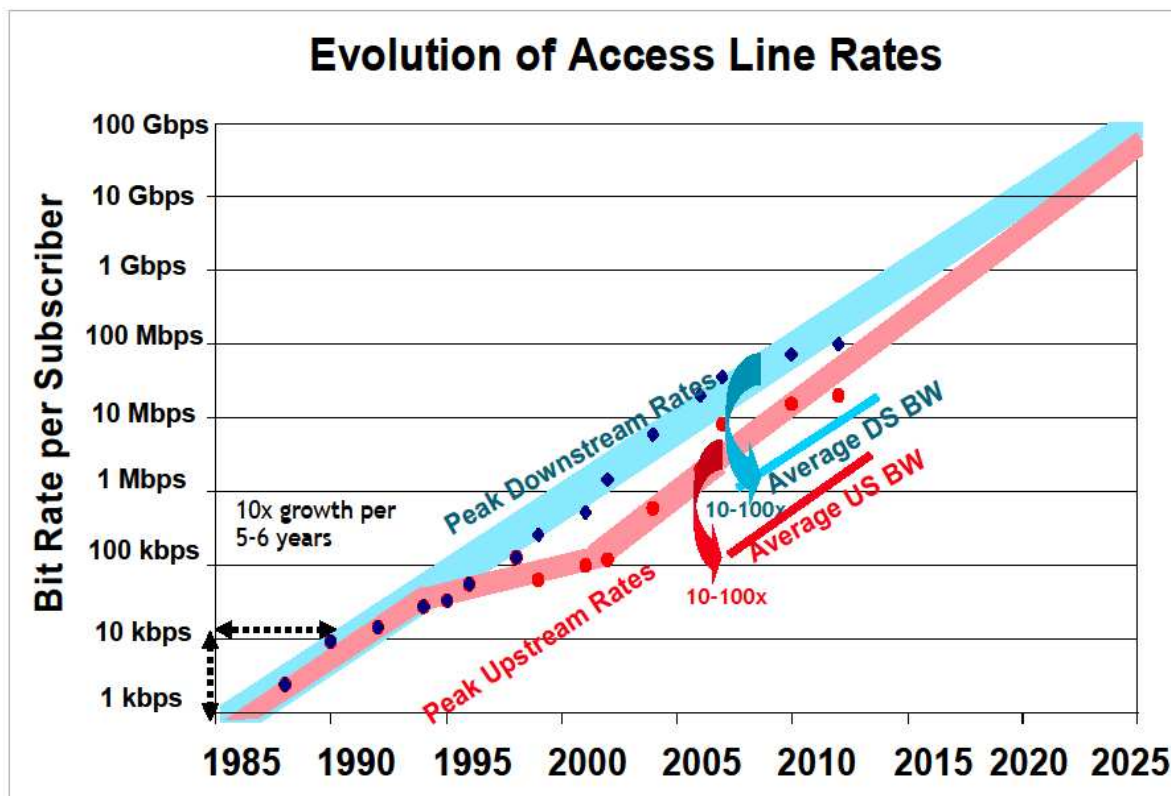


Рисунок 21: Рост потребности в увеличении полосы пропускания
На рисунке: **Bit Rate per Subscriber** – скорость передачи данных для абонента

4.5.2 Пассивные оптические сети

Информация о стандартах ITU

Оптическое оборудование класса В+ в технологии GPON имеет оптический бюджет 28 дБ и позволяет обеспечить длину линии 30 км с лимитированным коэффициентом деления 1:16. Новый тип оборудования класса С+ добавляет 4 дБ к оптическому бюджету и позволяет увеличить коэффициент деления или длину линии. Оборудование GPON позволяет увеличить длину линии до 60 км или подключить до 128 абонентов по одному волокну.

Несмотря на то, что технология GPON имеет достаточный запас по широкополосности на ближайшие годы, новая технология XG-PON уже стандартизирована.

XG-PON представляет собой естественную эволюцию PON технологий, позволяющая увеличить в 4 раза скорость передачи данных (до 10 Гбит/с) одновременно с увеличением длины линии с 20 км до 60 км и коэффициентом деления с 64 до 128. Следует заметить, что максимальное значение длины линии и коэффициента деления не достигается одновременно. Наиболее важно, чтобы это развитие технологий не привело к необходимости модернизировать существующую линейно-кабельную инфраструктуру.

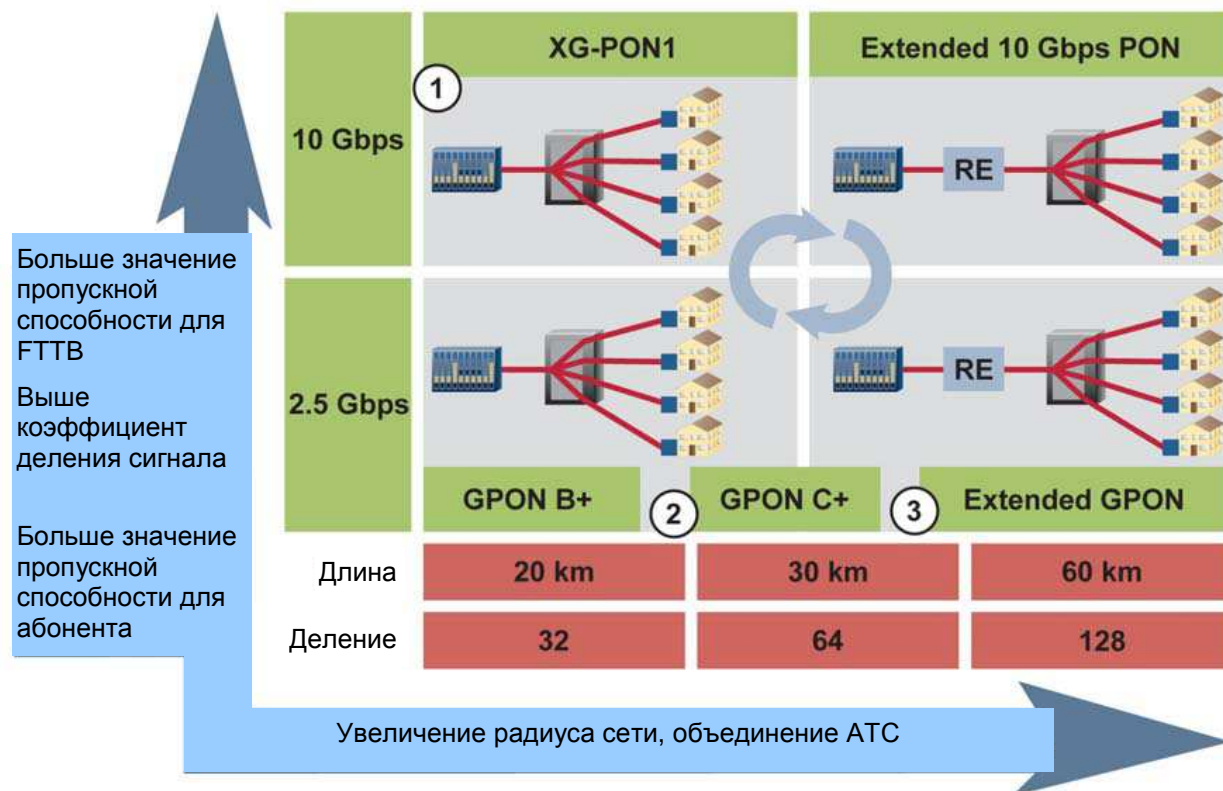


Рисунок 22: Развитие стандартов ITU PON

Информация о стандартах IEEE

Стандарт 10G-EPON (*10-Gigabit Ethernet PON*) был утверждён в сентябре 2009 года под номером 802.3av. Этот последний стандарт предусматривал симметричный канал со скоростью передачи данных 10 Гбит/с. Технология 10G-EPON предусматривает использование отдельных длин волн для прямых потоков 10Гбит/с и 1 Гбит/с, а также будет продолжать использовать одну длину волны для обратного потока для двух скоростей передачи 10Гбит/с и 1 Гбит/с с использованием TDMA (*Time Division Multiple Access - Множественный доступ с разделением по времени*) разделением данных, приходящих от абонента. Стандарт 802.3av будет включён в общий перечень стандартов IEEE 802.3.

4.5.3 Следующее поколение технологий PON

Следующим шагом после XG-PON может быть увеличение скорости передачи данных по волокну до 40 и даже до 100Гбит/с.

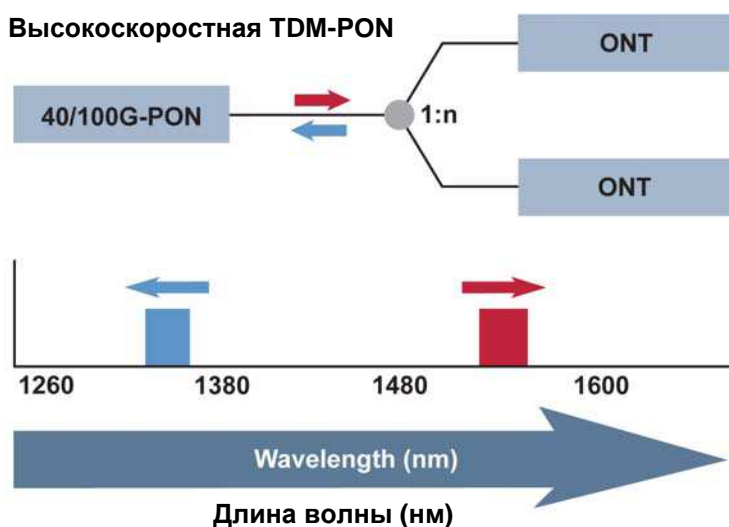


Рисунок 23: Распределение длин волн для TDM-PON

Технология TDM (Time-division Multiplexing) - Временное мультиплексирование

Как альтернатива используется технология WDM (*Wavelength-Division Multiplexing - волновое мультиплексирование*). В технологии WDM нет многих ограничений и технологических трудностей, свойственных TDM. Для повышения пропускной способности вместо увеличения скорости передачи в едином составном канале, как это реализовано в технологии TDM, в технологии WDM увеличивают число каналов (длин волн), применяемых в системах передачи.

Рост пропускной способности при использовании технологии WDM осуществляется без дорогостоящей замены оптического кабеля. Применение технологии WDM позволяет сдавать в аренду не только оптические кабели или волокна, но и отдельные длины волн, то есть реализовать концепцию "виртуального волокна". По одному волокну на разных длинах волн можно одновременно передавать самые разные приложения – кабельное телевидение, телефонию, трафик Интернет, "видео по требованию" и т.д. Как следствие, часть волокон в оптическом кабеле можно использовать для резерва.

В технологии WDM каналы полностью независимы, а потому она дает большую гибкость, чем технология TDM. Технология WDM позволяет без каких-либо трудностей передавать по линии связи множество каналов, тип трафика и скорость передачи данных в каждом из которых может существенно различаться. По различным каналам WDM в одном волокне может передаваться трафик Ethernet (10/100/1000 Мбит/с), цифровое видео и тестовые сигналы, при этом такая система будет легко управляться. Добавление новых каналов в существующую систему WDM-PON не вызывает проблем и не требует заново распределять все тайм-слоты, как в технологии TDM-PON.

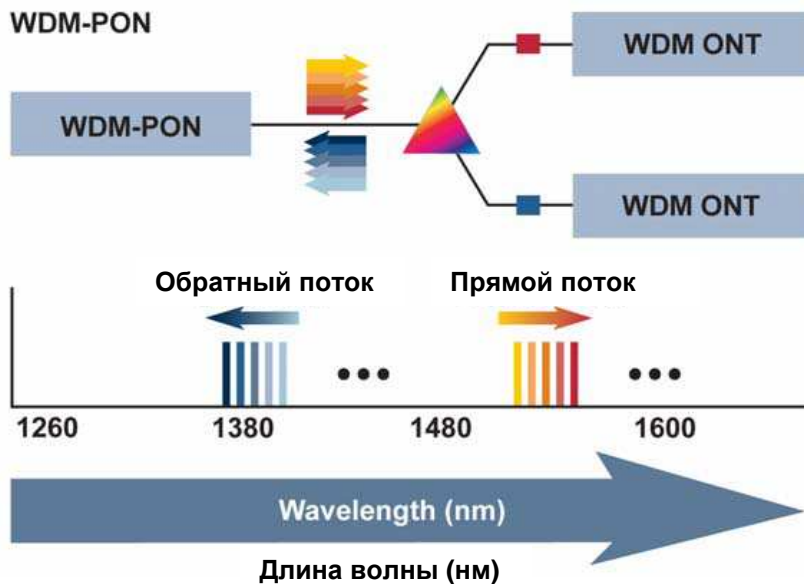


Рисунок 24: Распределение длин волн для WDM-PON

Ещё один вариант – это использование одного волокна для одновременной передачи нескольких сигналов TDM-PON, обычно применяемых в четырёх системах XG-PON, работающих на скорости передачи 10 Гбит/с каждая. Такая система называется гибридная TDM-WDM-PON.

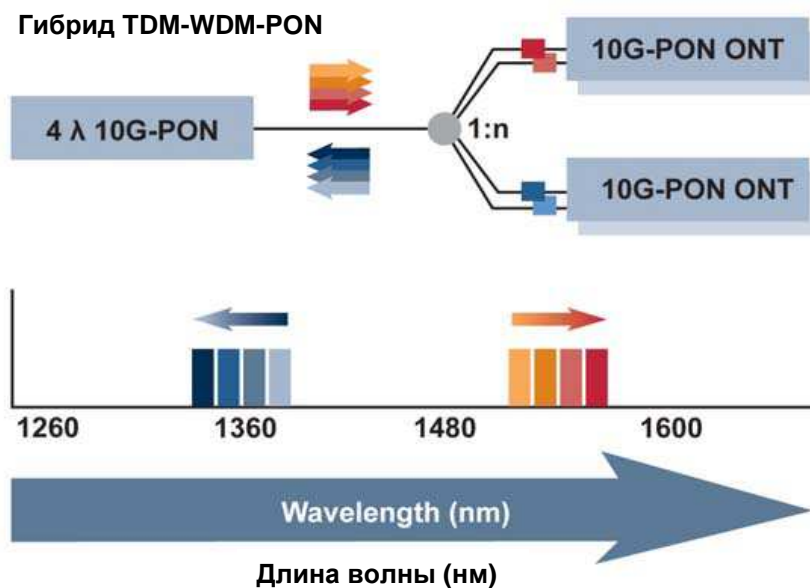


Рисунок 25: Распределение длин волн для гибридной системы TDM-WDM-PON

5 Совместное использование инфраструктуры

Из-за высокой стоимости развёртывания сетей FTTH, становится очевидно обсуждение совместного использования линейно-кабельной инфраструктуры заинтересованными в строительстве операторами.

5.1 Бизнес-модели

Существуют четыре варианта бизнес-моделей, представленных на современном рынке телекоммуникаций:

1. **Вертикальная** – один крупный оператор, такой как владелец инфраструктуры, оператор сети, поставщик услуг, имеющий в своём распоряжении пассивное и активное оборудование, предоставляет услуги напрямую абоненту. Трафик передаётся по его собственной сети, при этом другие провайдеры могут использовать её пассивную часть.
2. **Пассивное совместное использование инфраструктуры сети** – позволяет владельцу инфраструктуры предоставлять пассивную часть сети операторам, имеющим активное оборудование и предоставляющих услуги абонентам.
3. **Активное совместное использование инфраструктуры сети** – позволяет использовать сеть другим операторам, отвечающих за техническое обслуживание абонентской базы.
4. **Полностью разделённое** – некоторые страны используют полностью разделённую модель, включая владельца инфраструктуры, оператора сети и поставщиков услуг.

5.2 Совместный доступ к инфраструктуре

Для каждой модели предусматривается совместный доступ к элементам инфраструктуры сети. Существуют четыре метода совместного использования инфраструктуры:

1. **Каналы для прокладки кабелей** – операторы и провайдеры, предоставляющие услуги по сетям широкополосного доступа, могут совместно использовать сеть каналов для прокладки кабелей. При этом они могут конкурировать друг с другом по предоставляемым услугам.
2. **Волокно** - операторы и провайдеры, предоставляющие услуги по сетям широкополосного доступа, могут совместно использовать сеть FTTH путём подключения к неиспользуемым волокнам. При этом они могут конкурировать друг с другом по предоставляемым услугам.

Доступ к волокнам может быть осуществлён в различных точках сети: на АТС или точке присутствия POP, в любой точке между домом и АТС, или в точке распределения волокон в доме.

Такая точка доступа обычно называется точкой распределения волокон (FFP), где различные поставщики услуг могут иметь доступ к волокнам, направляемым к конечным пользователям.

Поставщики услуг, работающие в сетях PON, могут устанавливать сплиттеры в точках FFP, тем самым уменьшая количество магистральных волокон, приходящих в POP.

Поставщики услуг, работающие в сетях «точка-точка», могут устанавливать Ethernet коммутаторы в точках FFP или устанавливать пассивные устройства для подключения абонентов к POP.

3. Длина волны - операторы и провайдеры, предоставляющие услуги по сетям широкополносного доступа, могут совместно использовать сеть FTTH путём передачи данных по одному волокну, но на разных длинах волн. При этом они могут конкурировать друг с другом по предоставляемым услугам.

4.Packetная передача данных - операторы и провайдеры, предоставляющие услуги по сетям широкополносного доступа, могут совместно использовать сеть FTTH на уровне пакетной передачи данных. При этом они могут конкурировать друг с другом по предоставляемым услугам.

6 Элементы инфраструктуры сети

Ключевыми элементами инфраструктуры сети FTTH, начиная от узла доступа и заканчивая помещением абонента, являются:

Элементы инфраструктуры	Типичный вид и расположение
Сетевой узел или точка присутствия POP	Отдельные помещения или здания
Линейный кабель	Оптические кабели большой ёмкости и большого диаметра, прокладываемые в каналах кабельной канализации или подвешиваемые на опорах
Первичная точка концентрации волокон (FCP)	Оптические муфты, обеспечивающие лёгкость доступа к волокнам и устанавливаемые под землёй, в колодцах кабельной канализации или подвешиваемые на опорах, или шкафы наружной установки (без активного оборудования), имеющие большую оптическую ёмкость
Распределительный кабель	Оптические кабели средней ёмкости, прокладываемые в каналах кабельной канализации или подвешиваемые на опорах
Вторичная точка концентрации волокон (FCP)	Оптические муфты небольшого размера, обеспечивающие лёгкость доступа к волокнам и устанавливаемые под землёй, в колодцах кабельной канализации или подвешиваемые на опорах; или шкафы наружной установки (без активного оборудования), имеющие среднюю/низкую оптическую ёмкость и позволяющие ввести большое количество кабелей абонентской разводки
Кабель абонентской разводки	Оптические кабели малой ёмкости или волокна, прокладываемые в каналах или задуваемые в микротрубки для подключения абонентов
Внутренняя кабельная разводка	Придомовые оптические распределительные устройства, кабель межэтажной разводки и оконечное абонентское устройство, которое может быть частью ONU

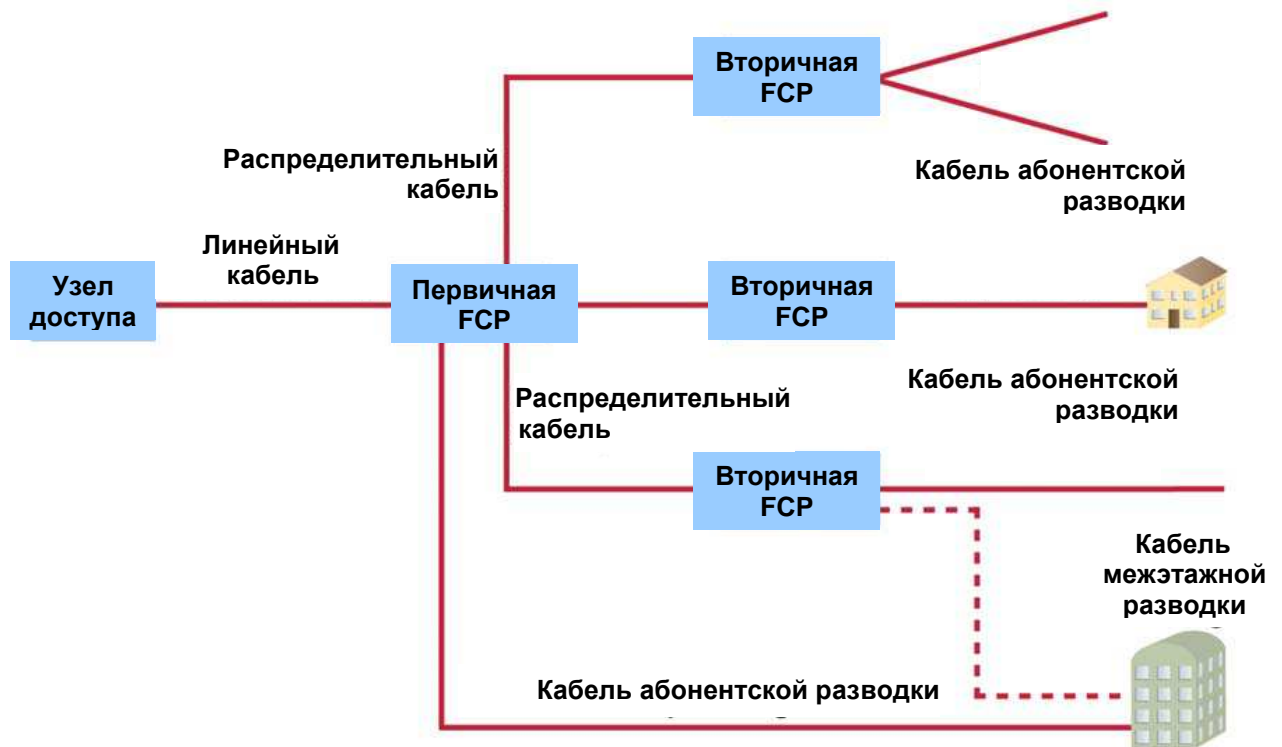
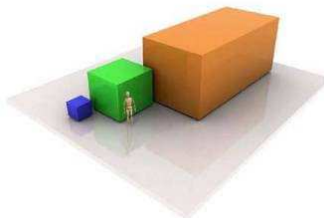


Рисунок 26: Основные элементы инфраструктуры сети FTTH

6.1 Узел доступа

Узел доступа, называемый также сетевым узлом или точкой присутствия (POP), является отправной точкой всей волоконно-оптической сети. Функционально узел доступа предназначен для размещения всего активного приёмо-передающего оборудования поставщика услуг, а также для распределения и коммутации оптических волокон, приходящих от активного оборудования, с волокнами магистральных кабелей. Физический размер узла доступа определяется размером и ёмкостью сети FTTH с учётом будущего развития.



Кол-во подключённых домов	Тип структуры узла доступа	
	2-400	Помещение
400-2 000	Помещение	Цоколь
Более 2 000	Здание	

Рисунок 27: Размер узла доступа

Узел доступа может быть размещён в отдельном помещении существующего здания или в отдельном здании. Кабели магистральной сети, входящие в сетевой узел, оконечиваются и направляются к активному оборудованию. Выходящие линейные кабели сети FTTH также оконечиваются и подключаются к активному оборудованию. Для оконечивания волокон магистральных и линейных кабелей, а также для организации выкладки и проведения необходимой коммутации волокон используются отдельно стоящие оптические кроссы.

Узел доступа классифицируется как объект закрытого типа, в котором должны быть установлены системы охранной и пожарной сигнализации, а также обеспечиваться защита от механических повреждений всего установленного оборудования.

6.2 Линейные кабели

Линейные кабели направляются от узла доступа к первичной точке концентрации волокон (FCP) и могут быть проложены на расстояние нескольких километров. Количество волокон в кабелях зависит от топологии сети.

Для топологии «точка-точка» необходимо прокладывать линейные кабели с большим количеством волокон, чтобы обеспечить необходимую ёмкость сети FTTH.

Для сетей PON, где используются оптические разветвители, устанавливаемые как можно ближе к месту концентрации абонентов, количество волокон между узлом доступа и сплиттерами значительно уменьшается, поэтому используются линейные кабели меньшей ёмкости.

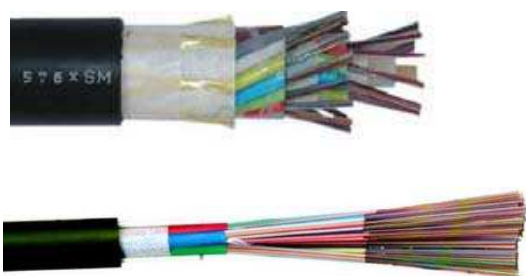


Рисунок 28: Кабели большой ёмкости

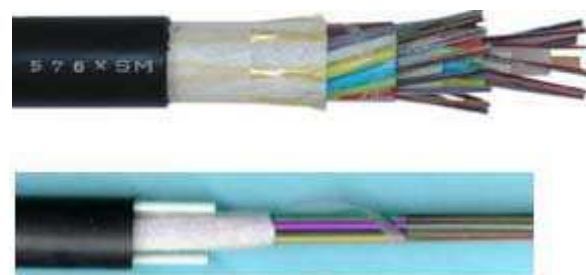


Рисунок 28: Кабели средней ёмкости

Диаметры каналов кабельной канализации определяют количество и диаметры прокладываемых кабелей. Если используются каналы малого диаметра, то необходимо прокладывать несколько линейных кабелей с малым количеством волокон, например, 48-72 волокон (Ø 6,0 мм) или до 216 волокон (Ø 8,4 мм). Если в качестве каналов используются защитные полиэтиленовые трубки, то прокладка в них кабелей малой ёмкости не рекомендуется. Гибкие полиэтиленовые каналы (см. также пункт 8.1.1) служат для прокладки кабелей большой ёмкости и большого диаметра для увеличения коэффициента заполнения канала. Для примера, стандартная трубка HDPE с внутренним диаметром 40 мм позволяет проложить 3x16 мм / 5x12 мм / 10x8,4 мм или 18x6 мм кабелей.

6.3 Первичная точка распределения волокон

Линейные кабели большой ёмкости должны преобразовываться в распределительные кабели меньшей ёмкости. Это происходит в первичной точке распределения волокон сети FTTH (FCP). В этом случае волокна линейного кабеля разделяются и сращиваются с волокнами группы разветвительных кабелей.

Замечание: все точки оконечивания и распределения волокна на сети FTTH следует рассматривать как точки распределения волокон. Термин FCP используется в данном руководстве, как общее название всех таких точек и классифицируется как «первичная» или «вторичная» точка в зависимости от местоположения в пределах сети.

В идеальном случае, первичную точку FCP следует располагать как можно ближе к конечному пользователю, что приводит к уменьшению длины распределительных кабелей, и тем самым минимизируются расходы на строительство.

Устройство FCP может иметь вид оптической распределительной муфты, устанавливаемой в колодце кабельной канализации или подвешиваемой на опорах, и предназначенной для сращивания большого количества волокон. Как альтернатива, возможно использование шкафов наружной установки. В любом случае, устройство FCP должно обеспечивать быстрый и удобный доступ к волокнам для проведения реконфигурации (модернизации) сети или технического обслуживания.

Муфты, устанавливаемые в колодцах кабельной канализации или подвешиваемые на опорах, относительно защищены от несанкционированного доступа. Дополнительную защиту от несанкционированного доступа и вандализма следует применять только для шкафов наружной установки, используемых в качестве точки FCP.

6.4 Распределительные кабели

Распределительные кабели имеют среднюю ёмкость и предназначены для соединения точки FCP с точкой концентрации абонентов (жилимыми зданиями).

Кабели могут прокладываться в каналах кабельной канализации, непосредственно в грунте или подвешиваться на опорах.

Распределительные кабели имеют ёмкость и внешний диаметр гораздо меньше, чем линейные кабели.

Распределительные кабели модульной конструкции могут быть проложены в существующие каналы кабельной канализации путём задувки или затягивания вручную, а также могут быть проложены непосредственно в грунте или подвешиваться на опорах.

Кабельные каналы могут быть различных видов: стандартные асбестоцементные трубы, полиэтиленовые гибкие трубки HDPE с внутренним диаметром 40 мм или микроканалы.

Кабели, прокладываемые в микроканалах, могут задуваться на расстояние более 1 км.



Рисунок 30: Кабели большой ёмкости



Рисунок 31: Кабели модульной конструкции



Рисунок 32: Гибкие трубки прокладываемые непосредственно в грунт и микрокабели

6.5 Вторичная точка распределения волокон

В некоторых случаях возникает необходимость распределить оптические волокна в пределах сети до их подключения к конечному пользователю. Как и в случае первичной точки FCP, вторичная точка распределения волокон FCP должна обеспечивать функции удобного и быстрого соединения и распределения волокон.

На вторичной точке FCP волокна распределительных кабелей разделяются и сращиваются с индивидуальными волокнами кабелей абонентской разводки. Вторичная точка FCP размещается как можно ближе к точке концентрации абонентов, чтобы обеспечить минимальную длину кабелей абонентской разводки. Кроме того, на место расположения вторичной точки FCP влияют такие факторы, как наличие каналов для прокладки кабелей, удобство доступа и, в случае PON, место размещения сплиттеров.

Устройство вторичной точки распределения волокон FCP может иметь вид оптической распределительной муфты, устанавливаемой в колодце кабельной канализации или подвешиваемой на опоре и предназначенной для сращивания небольшого количества волокон. Как альтернатива, возможно использование небольших боксов наружной установки. В любом случае, устройство FCP должно обеспечивать быстрый и удобный доступ к волокнам для проведения реконфигурации (модернизации) сети или технического обслуживания.

В случае использования технологии задувки волокон в микротрубки, устройство FCP должно содержать соответствующие элементы для поддержки такой технологии.

Устройства FCP, подвешиваемые на опорах, относительно защищены от несанкционированного доступа, хотя в некоторых случаях необходимо обеспечить дополнительную защиту. При размещении устройства FCP под землёй необходимо иметь небольшой кабельный колодец для удобства доступа к устройству. Также дополнительную защиту от несанкционированного доступа и вандализма следует применять для шкафов наружной установки, используемых в качестве вторичной точки FCP.

6.6 Кабели абонентской разводки

Кабели абонентской разводки формируют последний участок внешней кабельной сети и прокладываются от последней точки FCP до помещения абонента на расстояние не более 500 м. Кабели абонентской разводки, как правило, включают в себя одно волокно, но могут также содержать дополнительные резервные волокна. Под землёй кабели абонентской разводки могут прокладываться в небольших каналах, в микроканалах, или непосредственно в грунте. При воздушной прокладке кабели абонентской разводки отводятся от ближайшей опоры к зданию и далее направляются к точке оконечивания. В некоторых случаях кабели абонентской разводки могут быть с прединсталлированными разъёмами для быстрого подключения к абонентскому устройству.

Кабели абонентской разводки разделяются на четыре типа по способу прокладки: в кабельных каналах, под землёй, по фасадам зданий и подвешиваемые на опорах.

6.6.1 Кабели абонентской разводки, прокладываемые в кабельных каналах

Прокладка таких кабелей может осуществляться методом пневмопрокладки или затяжки вручную.

Конструкция кабелей может быть полностью диэлектрическая (без металлических защитных элементов), с внешней одинарной или двойной оболочкой из материала LSZH (не поддерживающего горение и не выделяющего галогены) для внутренней прокладки; или из обычного полиэтилена для внешней прокладки. Количество волокон в кабелях может быть от 1 до 36. Конструкция кабелей может быть модульная или микротрубчатая для пневмопрокладки волокон.

6.6.2 Кабели абонентской разводки, прокладываемые непосредственно в грунт

Конструкция кабелей может быть двух типов: без металлических защитных элементов и с гофрированным металлическим броневым покрытием.

Кабели с металлическими защитными элементами имеют высокую степень защиты от механических повреждений и высокий показатель усилия на разрыв.

Однако современные типы кабелей без металлических защитных элементов имеют механические характеристики сравнимые с кабелями в металлическом броневом покрытии, и при этом имеют меньшую стоимость.

Кабели абонентской разводки, прокладываемые непосредственно в грунт, обычно имеют ёмкость от 1 до 12 волокон.



Рисунок 33: Кабель с металлическими защитными элементами



Рисунок 34: Кабель без металлических защитных элементов

6.6.3 Кабели абонентской разводки, подвешиваемые на опорах

Типы кабелей приведены ниже:

- Волоконно-оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос с металлическим оптическим модулем в повиве (OPGW) или самонесущий полностью диэлектрический кабель (ADSS)
- Кабель со встроенным несущим троссом

Кабели, подвешиваемые на опорах, имеют конструкцию, которая обеспечивает стойкость к сильным нагрузкам на растяжение, величина которых зависит от длины пролёта между опорами, а также стойкость к жёстким условиям окружающей среды.

На рисунке 36 показан кабель, в котором несущий металлический тросс вмонтирован во внешнюю оболочку кабеля. Типичная ёмкость такого кабеля от 2 до 48 волокон, а максимальное усилие на разрыв достигает около 6000 Н.

Кабель OPGW, как правило, предназначен для подвеса на опорах воздушных линий электропередач от 35 кВ и выше.

Все приведенные типы кабелей могут иметь прединсталлированные оптические коннекторы, что позволяет значительно уменьшить время подключения абонентов.



Рисунок 35: Кабель ADSS



Рисунок 36: Кабель с металлическим несущим тросом

6.6.4 Кабели абонентской разводки, прокладываемые по фасадам зданий

Метод прокладки кабелей по фасадам зданий особенно актуален для старых и плотно населённых районов, где существующая подземная кабельная инфраструктура не позволяет проложить дополнительные кабели.

Кабели прокладываются вдоль фасада здания и крепятся к нему вместе с установленными муфтами, обеспечивая подключение абонента. Однако, при таком методе прокладки кабелей, можно столкнуться с многочисленными проблемами, возникающими при согласовании трассы прокладки с владельцами зданий и органами местной власти.

Кабели, прокладываемые по фасадам зданий, имеют такую же конструкцию как и кабели, прокладываемые в кабельных каналах. Единственное дополнительное требование к таким кабелям – это стойкость внешней оболочки к УФ излучению. Ёмкость таких кабелей, как правило, не превышает 12-ти волокон (обычно 1-2 или 4 волокна).

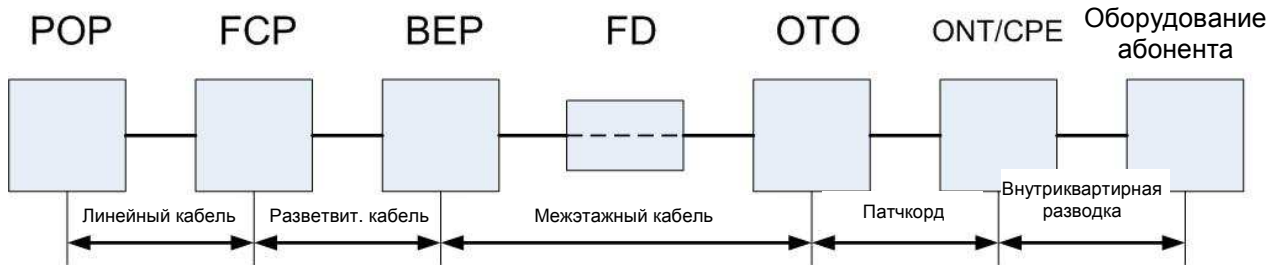
6.7 Кабели внутридомовой разводки

Кабели внутридомовой разводки описываются в разделе 7.

7 Кабели внутридомовой разводки

Участок внутридомовой кабельной разводки начинается от распределительного устройства на входе в здание и заканчивается оптическим модулем (розеткой), устанавливаемым в помещении абонента.

7.1 Модель построения внутридомового участка сети



Элементы инфраструктуры сети

POP (*Point of Presence*) – сетевой узел или точка присутствия

FCP (*Fibre Concentration Point*) – точка распределения волокон

BEP (*Building Entry Point*) – точка входа в здание

FD (*Floor Distributor*) – этажное распределительное устройство

OTO (*Optical Telecommunications Outlet*) – оптический абонентский модуль

ONT (*Optical Network Termination*) – оптический сетевой терминал (модем)

CPE (*Customer Premise Equipment*) – оборудование абонента, подключаемое к сети

Внутридомовая кабельная разводка может быть двух типов:

- Прямое подключение абонента с помощью кабеля абонентской разводки («точка-точка»)
- Межэтажное распределение волокон с/без использования этажных распределительных боксов

Кабельный участок между точкой входа в здание (BEP) и этажным распределительным боксом или оптическим абонентский модулем называется межэтажной разводкой.

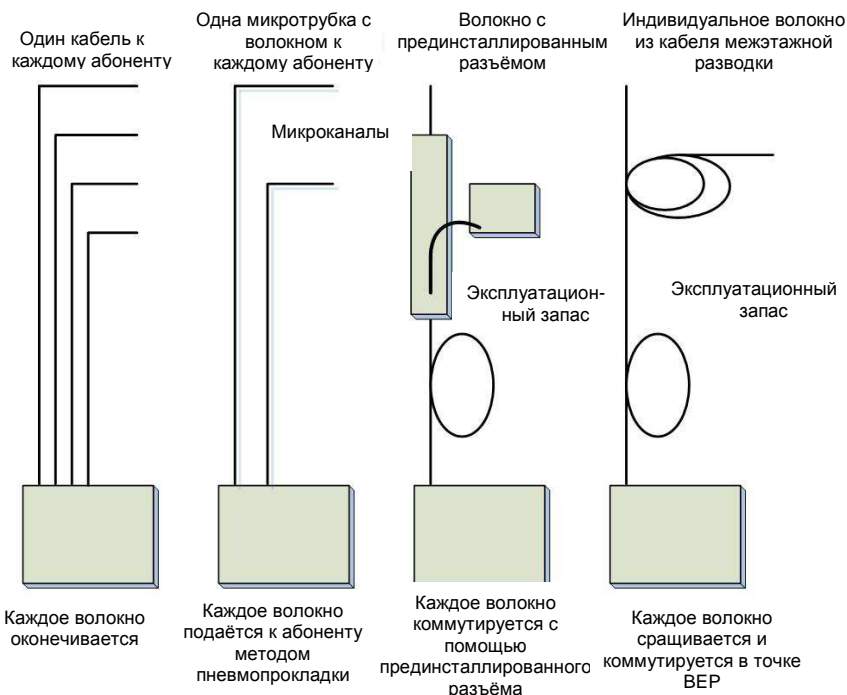


Рисунок 37: Пример внутридомовой кабельной разводки

Кабели межэтажной прокладки или микротрубки для пневмопрокладки волокна обычно прокладываются в зданиях по существующим кабельным стоякам или каналам. Кабель межэтажной прокладки обычно оконечивается в устройстве, устанавливаемом в подвальном помещении или на техническом этаже здания.

В зависимости от архитектуры сети, количества волокон, необходимых для подключения абонента, а также количества жилых помещений в здании, кабели межэтажной прокладки могут иметь различную структуру: индивидуальное волокно в покрытии или группа индивидуальных волокон под одной общей внешней оболочкой. Поскольку эти кабели прокладываются в достаточно сложных условиях (к примеру, с резкими поворотами через узкие каналы), то в конструкции кабелей используется новый тип волокон, не чувствительных к макроизгибам.

7.1.1 Точка входа в здание ВЕР (*Building Entry Point*)

Точка входа в здание ВЕР представляет собой устройство для соединения волокон кабелей внешней прокладки с волокнами кабелей внутренней прокладки. Соединение волокон может быть сварным или разъёмным.

7.1.2 Этажное распределительное устройство FD (*Floor Distributor*)

Этажное распределительное устройство служит для соединения волокон вертикального межэтажного кабеля с волокнами кабелей горизонтальной абонентской разводки.

7.1.3 Внутридомовая разводка

Служит для соединения точки ВЕР с абонентским модулем ОТО. Основным элементом внутридомовой разводки – это оптический кабель стандартной конструкции или с микротрубками для пневмопрокладки волокна.

7.1.4 Оптический абонентский модуль ОТО (*Optical Telecommunications Outlet*)

Абонентский модуль ОТО служит для оконечивания волокон кабеля горизонтальной абонентской разводки. Модуль ОТО комплектуется оптическим коннектором для подключения патчкорда, приходящего от абонентского активного оборудования ONT/CPE.

7.1.5 Оптический сетевой терминал ONT (*Optical Network Termination*)

Терминал ONT располагается в помещении абонента и служит для преобразования оптического сигнала, приходящего из сети FTTH, в электрический сигнал.

7.1.6 Оборудование абонента, подключаемое к сети CPE/SPE (*Customer Premise Equipment*)

Оборудование абонента, подключаемое к сети – это дополнительное устройство, позволяющее абоненту получать доступ к услугам, передаваемым по сети FTTH (высокоскоростной интернет, телевидение, телефон и т.п.). Очень часто оборудование CPE является частью сетевого терминала ONT.

7.1.7 Внутриквартирная кабельная разводка

Внутриквартирная кабельная разводка позволяет абоненту подключить любое устройство (телевизор, компьютер, телефон и т.п.) к сетевому терминалу.

7.1.8 Оборудование абонента

Оборудование абонента (телевизор, компьютер, телефон и т.п.), которое позволяет пользоваться услугами, передаваемыми по сети FTTH.

7.2 Общий обзор параметров оптических волокон и кабелей внутридомовой разводки

7.2.1 Характеристики волокна

В точке ВЕР волокна распределительных кабелей внешней прокладки должны соединяться с волокнами кабелей внутридомовой разводки (внутренней прокладки). Требования и характеристики этих волокон описаны в стандартах, приведенных ниже:

Тип волокна	Стандарт ITU	Стандарт IEC
Для кабелей внешней прокладки	G.652 D	IEC 60793-2-50 B1.3
Для кабелей внешней прокладки	G.657 A	IEC 60793-2-50 B6a
Для кабелей внутренней прокладки	G.657 A	IEC 60793-2-50 B6a

Таблица 1: Стандарты, определяющие характеристики волокна

7.2.2 Требования к радиусу изгиба волокна

Радиус изгиба волокон в точке ВЕР и по всей трассе прокладки внешних кабелей, имеющих в своей конструкции волокна стандартов G.652D или G.657A, должен быть не менее 30 мм.

Радиус изгиба волокон в абонентском модуле ОТО и по всей трассе прокладки внутридомовых кабелей, имеющих в своей конструкции волокна стандарта G.657A, должен быть не менее 15 мм. Стабильность оптических характеристик волокна должна сохраняться в течении не менее 20 лет.

Тип кабеля	Тип волокна	Стандарт IEC, радиус изгиба (мм)
Внешней прокладки	G.652 D	IEC 60793-2-50 B1.3 R 30
Внешней прокладки	G.657 A	IEC 60793-2-50 B6_a R 30
Внутренней прокладки	G.657 A	IEC 60793-2-50 B6_a R 15

Таблица 2: Требования к радиусу изгиба волокна

7.2.3 Типы кабелей

Стандарты серии IEC 60794 определяют требования к кабелям модульной конструкции, прокладываемым как снаружи, так и внутри помещений. Стандарты серии IEC 60794-5 [6] определяют требования к микрокабелям, прокладываемым в микроканалах методом пневмопрокладки.

7.2.4 Кабели для внешней прокладки

Кабели для внешней прокладки должны соответствовать требованиям стандарта IEC 60794-3-11 [7]. Рабочая температура: от -30⁰С до +70⁰С.

7.2.5 Кабели для внутренней прокладки

Кабели для внутренней прокладки должны соответствовать требованиям стандарта IEC 60794-2-20 [8]. Рабочая температура: от -20⁰С до +60⁰С.

7.2.6 Цветовая маркировка волокон

Волокна в оптических модулях кабеля, а также сами модули имеют цветовую маркировку, которая позволяет монтажнику легко идентифицировать волокна на разных сторонах оптической линии, а также назначать нумерацию волокон и оптических модулей. Цветовая маркировка волокон определяется стандартом IEC 60304 [5]. Стандарт определяет 12 цветов для маркировки волокон. Если волокон в кабеле больше, то используется дополнительная маркировка (например, с помощью штриховки).

7.2.7 Пневмопрокладка волокон и кабелей

Рекомендации для кабелей с микротрубками, волоконных модулей, микроканалов, а также защитных трубок, используемых для пневмопрокладки кабеля, приведены ниже. Технология пневмопрокладки кабелей или волоконных модулей предусматривает наличие защитных гибких трубок, которые могут входить в конструкцию кабеля, либо использоваться как отдельный канал для пневмопрокладки кабеля. Внешний диаметр таких трубок обычно не больше, чем 16 мм.

Требования к кабелям с микротрубками, волоконным модулям и микроканалам для пневмопрокладки кабелей определяются стандартом IEC 60304 [5].

7.2.8 Кабели в оболочке, не распространяющей горение

Требования для кабелей, не распространяющих горение, внешней и внутренней прокладки определены в стандартах IEC 60332 [22], IEC 60754 [23] и IEC 61034 [24].

7.3 Общие требования к устройству в точке входа в здание ВЕР

Устройство, устанавливаемое в точке входа в здание, должно обеспечивать требования по вводу и креплению кабелей, возможности выкладки сростков и запаса оптических волокон с допустимым радиусом изгиба, а также механической защите установленных пассивных компонентов. Устройство должно устанавливаться согласно инструкции по монтажу.

7.3.1 Сварное соединение волокон в устройстве ВЕР

Обычно в устройстве ВЕР используется сварное соединение волокон. Требования к сросткам волокон и защитным гильзам приведены ниже.

Тип защитной гильзы – термоусаживаемая или зажимная.

Характеристики	Требования
Макс. вносимое затухание сростка	0,15 дБ
Обратные потери	> 60 дБ
Рабочая температура	от -25 ⁰ С до +70 ⁰ С

Таблица 3: Требования к сварному соединению в устройстве ВЕР

7.3.2 Коммутационный бокс, устанавливаемый в точке ВЕР

Ёмкость устройства, устанавливаемого на вводе в здание, зависит от количества конечных пользователей.

Обычно для организации волокон кабелей, вводимых в здание, используются боксы специальной конструкции, позволяющие ввести необходимое число кабелей, организовать выкладку сростков и запаса волокон, а также, при необходимости, организовать коммутацию с использованием пассивных оптических компонентов. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность выкладки запаса неиспользуемых волокон, защиту от несанкционированного доступа (замки), а также возможность наращивания оптической ёмкости в будущем.

Также важно учитывать коэффициент защиты (IP) бокса от проникновения пыли и влаги. Обычно для внутренней установки бокса необходимо иметь коэффициент IP20, для наружной установки – IP44.

Длина разделки кабеля для удобного и правильного распределения волокон в боксе, с учётом эксплуатационного запаса, обычно составляет 1,5 м.



Рисунок 38: Пример бокса внутренней установки (IP20)



Рисунок 39: Пример бокса наружной установки (IP44)

7.3.3 Кассеты для выкладки сростков и запаса оптических волокон

Поскольку основная задача устройства на вводе в здание обеспечить соединение и организацию волокон линейных и внутридомовых кабелей, необходимо иметь кассеты для выкладки сростков и запаса оптических волокон, держатели сростков, а также различные фиксирующие и направляющие элементы. В любом месте бокса, где происходит выкладка и распределение волокон, должен быть обеспечен минимальный радиус изгиба волокна.

Существуют различные типы кассет, позволяющие осуществить выкладку сростков и запаса индивидуальных волокон (оптических цепей) или групп волокон (массовое сращивание).

Кассеты должны крепиться к корпусу бокса и иметь съёмную или откидную конструкцию для обеспечения лёгкого доступа к волокнам.



Рисунок 40: Пример кассет откидной конструкции



Рисунок 41: Пример кассет откидной конструкции для выкладки одиночной цепи

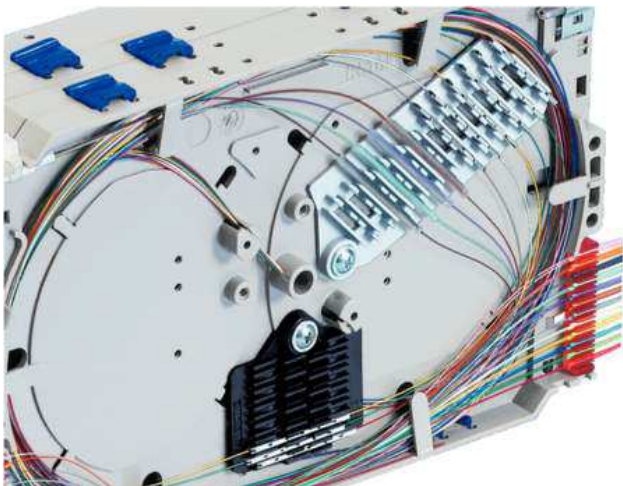


Рисунок 41: Детальный вид внутренней части кассеты с установленными держателями сростков и выкладкой запаса волокон

7.3.4 Размещение устройства точки ввода в здание ВЕР

Выбор места размещения устройства ВЕР всегда является сложной задачей, поскольку зависит от многих факторов, таких как наличие технического помещения, согласование с владельцем или службой отвечающей за здание, уровень влажности, пыли и вибрации в помещении.

Важно, чтобы устройство ВЕР размещалось как можно ближе к вертикальным кабельным каналам в здании.

7.4 Этажное распределительное устройство

Подключение абонентских модулей к волокнам межэтажного вертикального кабеля может осуществляться с помощью дополнительного этажного распределительного устройства. Такое решение особенно подходит для домовых сетей с большим количеством конечных пользователей, размещённых на одном этаже здания. В этом случае этажное распределительное устройство является точкой соединения и распределения волокон межэтажного вертикального кабеля и волокон горизонтальных кабелей абонентской разводки.

Этажное распределительное устройство может иметь вид оптического бокса, конструкция и функциональные характеристики которого схожи с боксом в точке ввода в здание ВЕР. Ёмкость бокса зависит от количества входящих и выходящих оптических волокон. Уровень защиты этажного бокса, как правило, имеет значение IP20. При использовании этажного бокса подключение абонентского модуля ОТО значительно упрощается, поскольку можно использовать кабель горизонтальной абонентской разводки с прединсталлированным коннектором на одном конце. При этом коннектор кабеля подключается к адаптеру на абонентском устройстве ОТО, а другой конец кабеля оконечивается в этажном боксе.

Участок сети между этажным распределительным боксом и абонентским модулем ОТО называется горизонтальной абонентской разводкой. Обычно кабель горизонтальной абонентской разводки имеет ёмкость от 1 до 4-х волокон.

Способы соединения волокон кабеля межэтажной разводки и волокон кабелей горизонтальной абонентской разводки в этажном боксе:

- С помощью коммутационной панели бокса с установленными коннекторами. При этом кабель абонентской разводки имеет прединсталлированный в заводских условиях коннектор на одном или обоих концах
- С помощью прямого сращивания волокон
- С помощью установки коннекторов в полевых условиях.

Поскольку кабели горизонтальной абонентской разводки прокладываются к точке подключения абонентов в очень жёстких условиях (острые углы, повороты на 90⁰, через узкие отверстия в стенах и т.п.), в конструкции кабелей применяется новый тип волокна, не чувствительный к макроизгибам.

7.5 Оптический абонентский модуль (ОТО)

Конструкция оптического абонентского модуля позволяет оконечить до 4-х оптических волокон, обеспечить выкладку сростков и запаса волокон, при этом внутри модуля обеспечивается минимальный радиус изгиба волокна - 15 мм. Фронтальная часть модуля позволяет установить оптические адаптеры для подключения симплексных или дуплексных коннекторов.

Корпус абонентского модуля имеет уровень защиты IP20 и, как правило, изготавливается из материала, не распространяющего горение (LSZH).

Обычно абонентский модуль имеет коммутационную панель с возможностью устанавливать любые типы оптических адаптеров, а также гибридные адаптеры для подключения оптических и медножильных коннекторов.

7.5.1 Типы и характеристики соединения оптических волокон в модуле ОТО

В модуле ОТО могут оконечиваться волокна стандарта G.657 А, поскольку небольшой размер корпуса модуля лимитирует радиус изгиба волокна. Способы соединения волокон в модуле:

- С помощью коннекторов, прединсталлированных в заводских условиях
- С помощью пигтейлов, которые сращиваются со входящими волокнами и затем подключаются к коммутационной панели
- С помощью коннекторов, устанавливаемых на входящие волокна в полевых условиях.

7.5.2 Оптические коннекторы

Тип оптического коннектора определяется на этапе проектирования сети (см. раздел 9 для получения дополнительной информации).

Рекомендуется использовать коннекторы с угловым физическим контактом APC, которые имеют хорошие характеристики по вносимым и особенно по обратным потерям оптического сигнала.

Требования к стойкости к механическим и климатическим воздействиям определены в стандарте IEC 61753-021-2 [15] для категории С (контролируемые условия окружающей среды) с диапазоном рабочих температур от -10⁰С до +60⁰С.



Рисунок 43: Пример модуля ОТО с кассетой и коммутационной панелью с установленными адаптерами типа LC

Наиболее быстрым и удобным способом установки абонентского устройства ОТО является использование модуля с прединсталлированным кабелем, т.е. волокна кабеля уже подключены в модуле.



Рисунок 44: Пример модуля с прединсталлированным кабелем

7.5.3 Требования к сросткам волокон

Сростки волокон, выполненные с помощью сварного или механического соединения и размещённые в абонентском модуле, должны иметь оптические характеристики: вносимое затухание IL не более 0,25 дБ и обратные потери $RL > 60$ дБ. Значение обратных потерь наиболее важно при передаче видеосигнала.

7.5.4 Место расположения абонентского модуля ОТО

В новых современных домах обычно применяется так называемый распределительный щит (бокс), устанавливаемый в помещении абонента, где выполняется вход и распределение электропитающих кабелей, размещается счётчик электроэнергии и другие устройства. В таких боксах, при наличии свободного места и удобного доступа, можно размещать и абонентский модуль ОТО. В любом случае, место размещения модуля должно быть оптимальным для удобства подключения к нему активного оборудования абонента (CPE или ONT).

При выборе места установки модуля необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- Удобный доступ к лицевой коммутационной панели модуля для подключения патчкордов
- Наличие интегрированных в модуль защитных элементов от попадания в глаза лазерного излучения
- Защита от попадания пыли во внутрь модуля
- Обеспечение надёжной защиты от случайного выдёргивания входящего и выходящего кабеля
- Обеспечение минимального радиуса изгиба волокон входящих кабелей
- Обеспечение лёгкости установки и демонтажа.



Рисунок 45: Модуль ОТО, установленный в распределительный щит абонента



Рисунок 46: Модуль ОТО, установленный на DIN рейку вместе с электрическими выключателями

7.5.5 Тестирование внутридомового участка сети (между ВЕР и ОТО)

Способы тестирования и необходимые для этого приборы и инструменты определяются на стадии проектирования сети (см. раздел планирования сети).

Существует несколько методов тестирования:

1. Двухнаправленное тестирование линии между POP и ОТО с помощью рефлектометра
2. Однонаправленное тестирование линии от точки ОТО с помощью рефлектометра

Более детальное описание методов тестирования приведено в разделе 11 данного Руководства.

7.5.6 Техника безопасности

7.5.7 Общие требования

Все работы с оптическим волокном должны выполняться обученными и сертифицированными специалистами. Требования по технике безопасности при работе с лазерным излучением приведены в стандарте IEC 60825 [19].

7.5.8 Техника безопасности при работе с лазерным излучением

Согласно стандарту IEC 60825 тип помещения абонента определяется как «неограниченный доступ».

Поскольку оптическое оборудование, устанавливаемое на стороне абонента, имеет уровень опасности 1 (IEC 60825 [19]), а также источники лазерного излучения имеют уровень опасности 1 или 1M (IEC 60825 [19]), нет никаких специальных требований по применению защиты от лазерного излучения для оптических устройств, устанавливаемых в помещении абонента (включая активное оборудование, модуль ОТО и ВЕР).

Современное внутридомовое оптическое оборудование не представляет никакой опасности для конечных пользователей: новое поколение оптических адаптеров и коннекторов имеет специальные защитные крышки, которые защищают от попадания пыли, а также автоматически перекрывают распространение лазерного излучения в открытой среде (см. рисунок ниже).



Рисунок 47: Пример адаптера и коннектора с защитными крышками

8 Методы и оборудование для строительства сети

Данный раздел описывает существующие методы строительства волоконно-оптической сети, а также необходимое для этого оборудование и инструменты. При построении одной сети могут применяться несколько разных методов.

8.1 Кабельные каналы

Использование кабельных каналов является наиболее распространённым методом для прокладки подземных кабелей связи. Сеть каналов кабельной канализации позволяют быстро проложить кабели на необходимое расстояние, используя обычный метод затяжки вручную, метод пневмопрокладки или прокладки под водяным давлением.



Рисунок 48: Прокладка кабеля в каналах кабельной канализации

Сеть каналов кабельной канализации может состоять из:

1. Гибких каналов небольшого диаметра, проложенных в одном главном канале для прокладки индивидуальных кабелей
2. Каналов большого диаметра, в которых постепенно, по мере развития сети, прокладываются кабели
3. Отдельных каналов малого диаметра для прокладки индивидуальных кабелей.

Использование каналов кабельной канализации позволяет упростить доступ к элементам линейно-кабельных сооружений при развитии или реконфигурации сети.

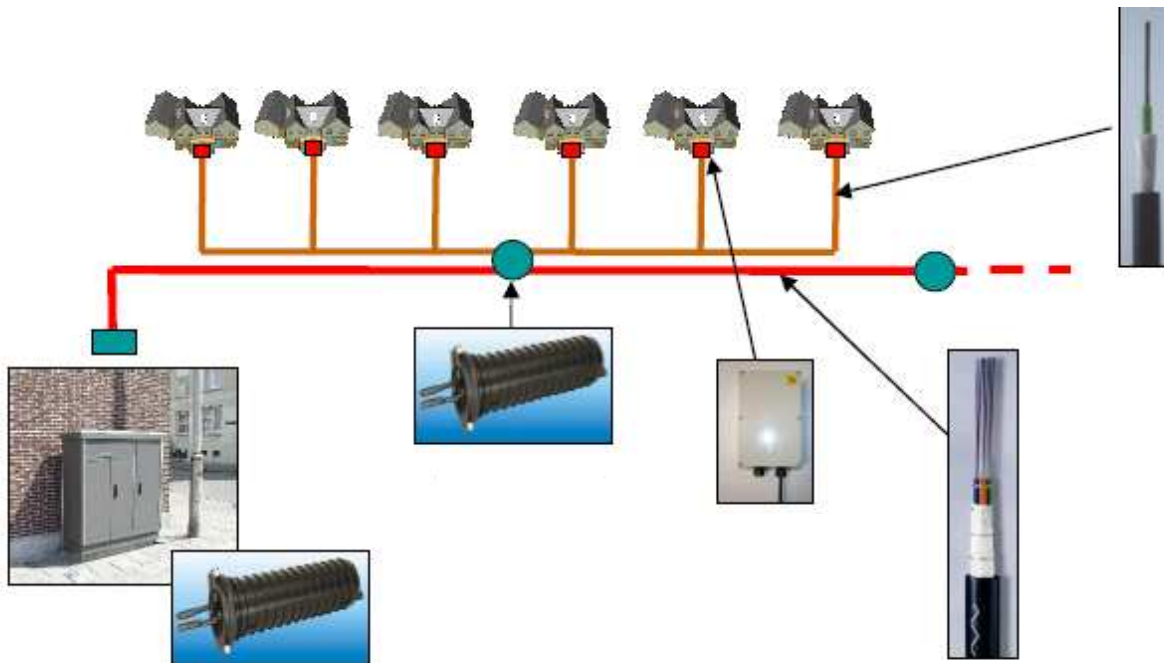


Рисунок 49: Линейно-кабельное оборудование

8.1.1. Сеть кабельных каналов

Кабели могут прокладываться в один канал большого диаметра без дополнительной защиты или в защитных полиэтиленовых трубках меньшего диаметра, которые необходимо заранее проложить в главный канал. При таком методе прокладки существует ограничение по количеству кабелей, которые могут быть проложены в одном канале. При этом возникает сложность удалить старые кабели из общего канала для прокладки новых из-за переплетения кабелей по трассе прокладки, а также высокого коэффициента трения между оболочками кабелей.

Прокладка дополнительных жёстких полиэтиленовых трубок в главном канале не только уменьшает общую ёмкость канала, но и вызывает необходимость освобождать главный канал от большого количества уже проложенных старых кабелей. В защитных трубках кабели могут прокладываться методом затяжки вручную или методом пневмопрокладки.

Технология использования гибких тканевых каналов позволяет значительно увеличить количество прокладываемых кабелей в одном главном канале и в то же время позволяет легко удалять старые кабели.

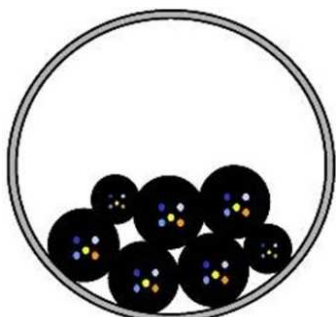


Рисунок 50: Главный канал, диаметром 110 мм с проложенными кабелями

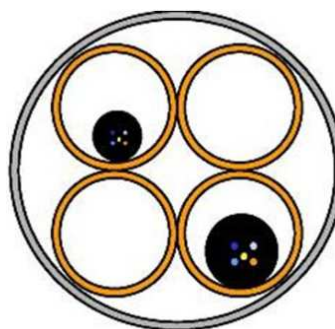


Рисунок 51: Главный канал, диаметром 110 мм с проложенными полиэтиленовыми трубками

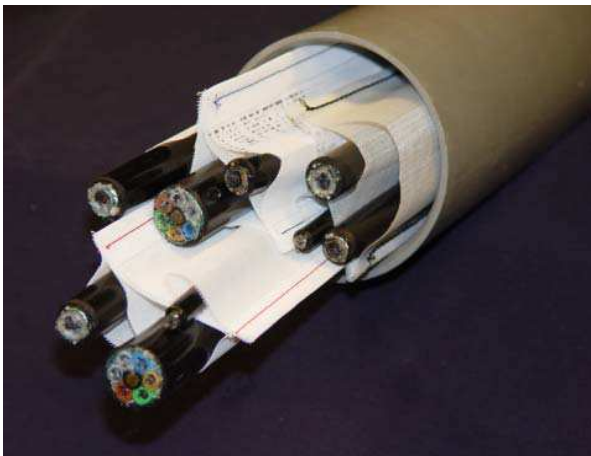


Рисунок 52: Главный канал, диаметром 110 мм с проложенными гибкими тканевыми каналами

Главный канал, в котором могут прокладываться дополнительные жёсткие трубки, обычно имеет диаметр от 60 до 110 мм. Главный канал для прокладки одиночных кабелей имеет меньший внутренний диаметр – от 20 до 40 мм. Главные каналы небольшого диаметра могут также использоваться для прокладки гибких тканевых каналов или микроканалов.

Кабели могут быть проложены в каналах путём затяжки вручную, методом пневмопрокладки или прокладки под водяным давлением. Метод прокладки кабелей путём затягивания вручную требует наличия заранее проложенной в канале заготовки, к которой через компенсатор кручения крепится кабель и затем вручную затягивается в канал. Метод пневмопрокладки кабеля требует наличия полной герметизации всей трассы прокладки, включая стыки каналов и места ввода кабеля.

Внутренняя поверхность главных или жёстких субканалов может быть выполнена из специального материала, который понижает коэффициент трения между внутренней поверхностью канала и оболочкой кабеля. В некоторых случаях каналы могут иметь ребристую внутреннюю поверхность или специальный смазывающий состав (лубрикант). Гибкие тканевые каналы уже в процессе изготовления покрываются таким лубрикантом.

На показатель максимально возможной длины затягивания кабеля (с помощью заготовки или методом пневмопрокладки) влияют многие факторы, такие как коэффициент трения, радиусы изгиба трассы прокладки (вертикальной или горизонтальной), жёсткость конструкции и вес кабеля, а также используемое для прокладки кабеля оборудование. На стадии проектирования необходимо определить уровень заполнения существующих каналов кабельной канализации, а также типы и конструкцию кабелей, предназначенных для прокладки.

8.1.2 Типы кабельных каналов

Магистральные каналы подземной кабельной канализации

Магистральные каналы направляют кабели от Сетевого узла (АТС) к точке распределения волокон FCP.

Внутренний диаметр небольших магистральных каналов может быть от 25 до 50 мм. Большие каналы, диаметром 110 мм, могут использоваться для прокладки субканалов жёсткой конструкции, диаметром от 20 до 40 мм, или гибких тканевых каналов.

Магистральные каналы большого диаметра изготавливаются из полиэтилена высокой плотности HDPE



или поливинилхлорида PVC (кроме того, существуют устаревшие каналы из асбестоцемента). Жёсткие субканалы изготавливаются из материала HDPE, а гибкие тканевые – из нейлона/полиэстера.

8.1.3 Конструкции кабелей, прокладываемых в каналах

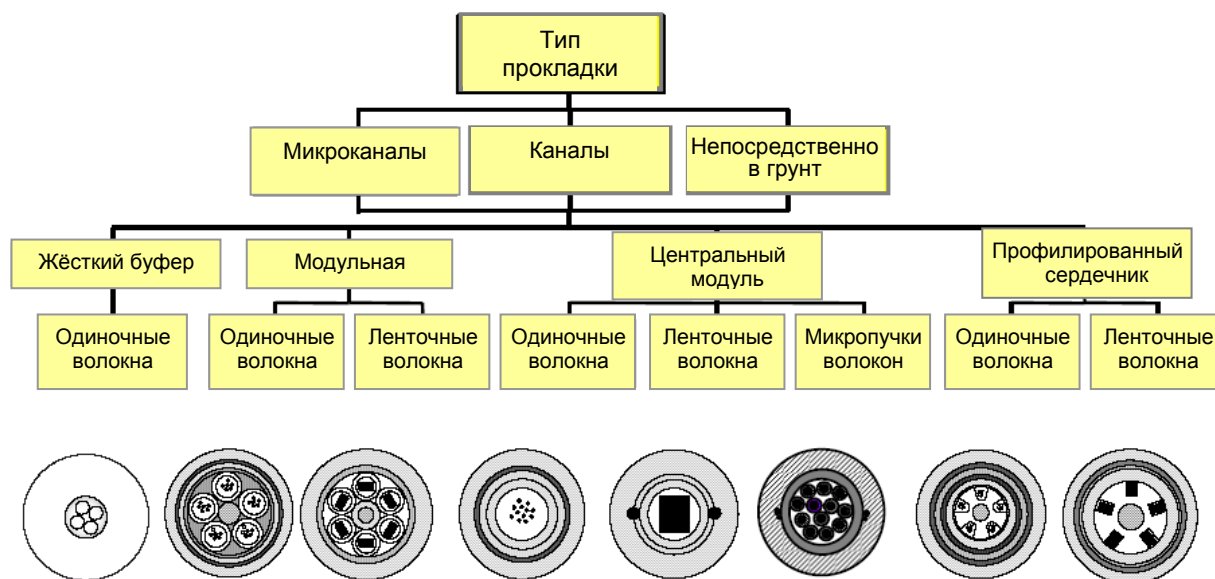


Рисунок 53: Типы и конструкция кабелей, прокладываемых в каналах

Существует большое количество конструкций оптических кабелей, однако все они содержат небольшое количество стандартных элементов. Одним из главных элементов в конструкции кабеля является оптический модуль. Это пластиковая трубка, в которой свободно располагается определённое количество оптических волокон (обычно 12). Трубка заполнена гидрофобом, который является буфером между оболочкой трубки и расположенными в ней волокнами, а также позволяет волокнам свободно двигаться в пределах трубки при изгибах или натяжении кабеля. Волокна также могут быть в форме многоволоконной ленты или в защитном полужёстком буфере. Кроме того, волокна могут быть уложены в канавки так называемого профилированного сердечника.

Оптические модули с одиночными или ленточными волокнами скручиваются вокруг центрального силового элемента, который предназначен для компенсации усилий растяжения кабеля, возникающих при прокладке. Поверх такой скрутки модулей накладывается водопоглощающая лента или слой гидрофобного заполнителя, предназначенного для блокировки продольного распространения воды в кабеле. Вся эта конструкция покрывается внешней оболочкой из полиэтилена (или другого материала), необходимой для защиты элементов кабеля от воздействий окружающей среды. Такая конструкция кабеля называется модульной.

Кроме того, группы одиночных или ленточных волокон могут располагаться в одной центральной трубке (модуле) большого диаметра (конструкция кабеля с центральным модулем). При этом силовые элементы размещаются вдоль модуля. Современные конструкции кабелей для прокладки в каналах кабельной канализации, как правило, не содержат металлических элементов. Хотя в некоторых случаях, для дополнительной защиты, в конструкции кабелей могут присутствовать металлические силовые элементы и броневое покрытие в виде гофрированной алюминиевой ленты. Такая конструкция кабелей позволяет

определить трассу прокладки с помощью специальных детекторов, а также обеспечить защиту от грызунов.

Кабели для пневмопрокладки обычно имеют более облегчённую и диэлектрическую конструкцию.

Внешняя оболочка всех типов оптических кабелей для прокладки в каналах кабельной канализации обычно выполнена из полиэтилена для защиты от проникновения воды. Каналы кабельной канализации обычно обеспечивают надёжную защиту проложенных кабелей от механических повреждений и влияния окружающей среды, тем не менее кабели должны быть стойкими к возможным негативным влияниям, таким как затопление каналов и циклическое замерзание/размерзание.

8.1.3.1 Прокладка кабелей в каналы методом затягивания

Информация, приведенная ниже, описывает общие положения по прокладке кабелей. Более детальные рекомендации приведены в стандарте IEC 60794-1-1 раздел C.

Прокладка оптического кабеля в каналах кабельной канализации может производиться вручную или механизированным способом.

Метод прокладки оптического кабеля (ОК) вручную используется, как правило, при затягивании в канал небольшой длины кабеля. При этом конец ОК с помощью наконечника для затягивания через компенсатор кручения крепится к концу тягового элемента (стеклопрутка, провода и т.п.), который был заранее проложен в канале. При вытягивании тягового элемента из канала происходит затягивание в него кабеля. При таком методе прокладки важно, чтобы конец кабеля (центральный силовой элемент и оболочка) крепился к тяговому элементу с помощью наконечника через компенсатор, который исключает передачу усилий кручения на кабель. Конструкция наконечника базируется на том, что в нём надёжно закрепляются все конструктивные элементы кабеля, кроме оптических волокон, которые остаются свободными.

Для уменьшения коэффициента трения во время затягивания кабеля в каналы, можно смачивать оболочку кабеля водой или специальным смазывающим составом (кабельным лубрикантом). При этом использование вазелина или других технических масел запрещается.

Прокладка кабеля в каналах кабельной канализации механизированным способом выполняется с помощью специальных лебёдок с ручным или электрическим приводом и направляющими кабельными элементами. Конец кабеля с помощью наконечника через компенсатор кручения крепится к тяговому канату (тросу), который заранее проложен в канал. При наматывании троса на барабан лебёдки происходит затягивание кабеля в канал. Современные типы кабельных лебёдок включают в себя системы контроля усилия натяжения и скорости затягивания кабеля.

Прокладка кабелей большой длины может проводиться в двух направлениях, при этом барабан с кабелем устанавливается примерно на середине трассы прокладки. Первую часть длины кабеля затягивают в одну сторону непосредственно с барабана, затем вторую половину длины кабеля снимают с барабана, выкладывают в форме «восьмёрки» и затягивают в другую сторону.



Рисунок 54: Наконечник с компенсатором кручения



Рисунок 55: Барабан кабельной лебёдки

8.1.3.2 Пневмопрокладка кабелей

Обычно кабели прокладываются в каналы кабельной канализации стандартным методом затягивания. Однако существует более современный и удобный метод - прокладка кабелей в потоке сжатого воздуха (пневмопрокладка). Метод основан на принципе поддержания прокладываемого кабеля во взвешенном (динамическом) состоянии за счёт интенсивного воздушного потока. Кабели, используемые при таком методе прокладки, имеют полностью диэлектрическую конструкцию и небольшой вес. Скорость и максимальная длина прокладки кабеля при таком методе значительно выше, чем при затягивании вручную.

Главная особенность метода пневмопрокладки кабелей – это наличие полной герметичности каналов.

При пневмопрокладке кабелей необходимо соблюдать баланс между внутренним диаметром канала и внешним диаметром прокладываемого кабеля. Если значение внешнего диаметра кабеля достаточно большое (превышает 75% значения внутреннего диаметра канала), то для прокладки кабеля необходимо иметь мощные компрессорные установки либо уменьшать длину задувки кабеля. Если диаметр кабеля слишком малый, то это может привести к техническим проблемам при прокладке. Обычно хорошие результаты прокладки достигаются при значении заполнения канала от 40% до 85%.

Существуют два основных метода пневмопрокладки кабеля: бесплунжерный (без дополнительного поршня) и плунжерный (с поршнем).

Бесплунжерный метод основывается на том, что кабель в канал (трубку) подаётся с помощью дополнительного подающего устройства. Благодаря подаче сжатого воздуха в трубку, кабель перемещается вдоль трубки, не касаясь её стенок (в подвешенном состоянии). Такой метод удобен для трасс с большим количеством поворотов и ответвлений.

Плунжерный метод основывается на том, что кабель крепится к специальному устройству (поршню), который двигается в канале под действием сжатого воздуха, и тем самым прокладывает кабель.

В обоих методах необходимо обязательно контролировать воздушное давление, чтобы избежать повреждение кабеля.

8.1.3.3 Прокладка кабеля с помощью подачи водяного давления

Поскольку большинство конструкций кабелей, предназначенных для прокладки в подземных кабельных сооружениях, имеют стойкость к воздействию воды, то существует возможность использования альтернативного метода прокладки под воздействием не воздушного, а водяного давления. Такой метод позволяет использовать те же компрессорные устройства для пневмопрокладки, только вместо воздуха в канал подаётся под давлением вода. Такой метод удобен для

прокладки кабелей большого диаметра (например, кабель диаметром 38 мм может быть проложен в канале с внутренним диаметром 41 мм на расстояние более 1,9 км – уровень заполнения канала 93%)

Также метод подачи водяного давления в канал является достаточно удобным и безопасным для удаления старых кабелей из канала.

8.1.4 Использование оболочек старых медножильных кабелей для прокладки оптических кабелей

Существует новейшая технология модернизации подземных медножильных кабелей связи для их использования в широкополосных магистральных сетях передачи данных. Такая технология предусматривает использование внешних оболочек старых медножильных кабелей в качестве каналов для прокладки новых оптических кабелей. Медножильный кабель откапывается или отрезается в кабельных колодцах в начале и в конце участка трассы длиной от 50 до 400 метров. Затем в него под давлением закачивается специальная смазочная жидкость. Эта смазка полностью заполняет пространство между внешней кабельной оболочкой и внутренней оболочкой, покрывающей пучок проводников кабеля. Затем с одной стороны сердечник кабеля извлекается специальным приспособлением и упаковывается для последующей утилизации или переработки с соблюдением экологических требований.



Рисунок 56: Процесс вытягивания сердцевины старого медножильного кабеля

С другого конца в освободившуюся от сердечника оболочку старого кабеля затягиваются пустые трубки вместе с размещенными внутри них новыми волоконно-оптическими кабелями. Причём удаление сердцевины старого кабеля и прокладка новых выполняется во время одной технологической операции.

Описанный процесс замены кабелей может дать экономию порядка 40-90% по сравнению с традиционными методами прокладки кабелей. Процесс занимает немного времени, т.к. земляные работы минимальны. Единственными ограничениями для применения данной технологии является наличие открытого участка до 400 м, отсутствие на этой длине кабельных муфт и повреждений оболочки кабеля, нарушающих его герметичность.

8.1.5 Колодцы кабельной канализации

Колодцы кабельной канализации равномерно размещаются по всей трассе прокладки кабельных каналов и разделяются на:

- проходные – устанавливаются на прямолинейных участках трассы, в местах поворота трассы не больше, чем на 15° , а также при изменении глубины прокладки каналов;
- угловые – устанавливаются в местах поворота трассы больше, чем на 15° ;
- разветвительные – устанавливаются в местах разветвления трассы на два или более направления;

- стационарные или придомовые - устанавливаются в местах ввода кабелей в технологические помещения связи или жилые здания.

При новом строительстве рекомендуется использовать колодцы кабельной канализации, выполненные из литого пластикового корпуса с рёбрами жёсткости и металлической или пластиковой крышкой. Кроме того, для строительства кабельной канализации могут использоваться сборные железобетонные или кирпичные колодцы.

Размеры колодцев кабельной канализации должны быть достаточно большими, чтобы обеспечить удобный доступ к каналам для прокладки кабелей, установки оптических соединительных и разветвительных муфт, а также выкладки петли эксплуатационного запаса оптических кабелей.

8.1.6 Оптические муфты

Оптические муфты предназначены для защиты сращиваний волокон оптических кабелей от механических повреждений и воздействия окружающей среды. Муфты могут использоваться как для прямого сращивания волокон линейных кабелей, так и для ответвления волокон кабелей абонентской разводки. Оптические муфты обычно устанавливаются в колодцах кабельной канализации, непосредственно в грунте (в котловане), подвешиваются на опорах или устанавливаются в технологических помещениях объектов связи.

Не существует каких-либо специальных требований по количеству и частоте размещения муфт. Распределительные муфты могут размещаться каждые 500 м при построении сети на участке со средней плотностью размещения абонентов, и каждые 250 м - на участке с большой плотностью размещения абонентов. Оптические муфты распределительного участка сети имеют, как правило, среднюю ёмкость, и при этом должны обеспечивать возможность лёгкого доступа к оптическим волокнам при обслуживании, модернизации или реконфигурации сети. В рабочем состоянии муфты должны обеспечивать стойкость к механическим повреждениям и воздействиям окружающей среды (долговременному погружению в воду, замерзанию/размерзанию).

8.2 Технология пневмопрокладки микрокабелей и микроканалов

Технология позволяет задувать специальный волоконный модуль или кабели небольшого диаметра напрямую в здание или в помещение абонента, используя специальные трубки. При этом уменьшается количество точек соединений волокон, а также увеличивается длина линии прокладки. Для соединения и разветвления микротрубок используются соединители/разветвители, которые легко и быстро монтируются, позволяя создавать любую конфигурацию сети. Микроканалы для пневмопрокладки могут использоваться совместно со стандартной подземной и воздушной линейно-кабельной инфраструктурой.

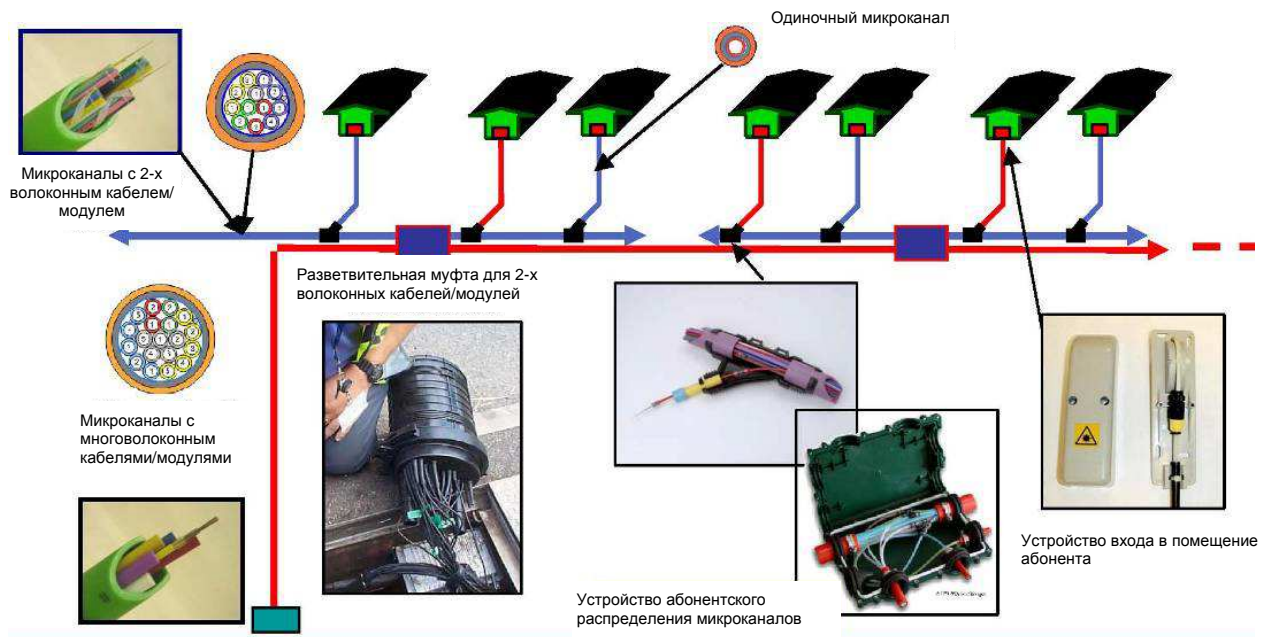


Рисунок 57: Линейка изделий для микроканалов и микрокабелей

8.2.1 Технология пневмопрокладки волокон с использованием микроканалов

Микроканалы имеют небольшой диаметр (до 16 мм), малый вес и гибкую конструкцию, похожую на конструкцию стандартных пластиковых каналов малых диаметров. Микроканалы могут быть проложены как отдельный независимый элемент или задуты в каналы более большого диаметра. Микроканалы могут быть в виде трубок небольшого диаметра (внутренний диаметр 3,5 мм и внешний диаметр 5 мм), которые объединены под одной общей защитной оболочкой (так называемый «защищённый» микроканал). Такой микроканал обычно включает в себя до 24 микротрубок и может прокладываться непосредственно в грунте или подвешиваться на опорах.



Рисунок 58: Микроканалы с кабелем/волоконными модулями



Рисунок 59: Пустые микроканалы проложенные в общем канале

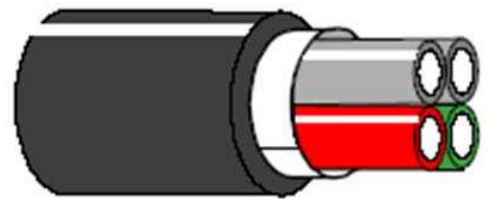


Рисунок 60: Защищённый микроканал

Толстостенные микроканалы не предназначены для прокладки внутри других каналов или трубок. Пучки таких микроканалов соединяются с помощью специальных коннекторов, которые представляют собой удобные и лёгкие в установке устройства. Толстостенные микроканалы, объединённые в группах по 2, 4, 6, 7, 12 или 24 канала под одной тонкой оболочкой, могут прокладываться непосредственно в грунт на большое расстояние, или прокладываться индивидуально на более короткие дистанции. Кроме того, сгруппированные микроканалы позволяют легко выполнять ответвление путём снятия внешней общей оболочки и устанавливая специальный соединитель.

Группы микроканалов под одной жёсткой наружной оболочкой представляют собой большое количество индивидуальных микроканалов, прединсталлированных в одном общем стандартном канале HDPE. Индивидуальные микроканалы и общий канал могут быть различных диаметров в зависимости от прокладываемых в них кабелей.

Свободно размещаемые микроканалы отличаются своей высокой стойкостью к механическим повреждениям и возможностью прокладываться на максимальное большое расстояние, на которое могут быть задуты волокна. Свободно размещённые микроканалы могут прокладываться двумя способами:

- Прединсталлироваться в стандартные каналы HDPE различных диаметров с возможностью соединяться и ответвляться в местах, где это необходимо
- Задуться в заранее проложенные каналы HDPE для обеспечения максимальной гибкости построения сети.



Рисунок 61: Толстостенные микроканалы под общей оболочкой



Рисунок 62: Ответвление толстостенного микроканала

8.2.2 Соединители и муфты для микроканалов

Строительные длины микроканалов соединяются друг с другом с помощью специальных коннекторов, которые могут быть водо- или газонепроницаемыми.

Конструкция коннекторов для толстостенных микроканалов позволяет монтажнику легко соединить две трубки без необходимости использовать муфту, разветвительный Y-образный коннектор или распределительный бокс. Коннектор является полностью газонепроницаемым для обеспечения возможности пневмопрокладки волоконных модулей или микрокабелей.



Рисунок 63: Разветвительные блоки

Микроканалы, размещённые под одной жёсткой наружной оболочкой, требуют наличие водонепроницаемых разветвительных блоков. Разветвительные водонепроницаемые Y-образные блоки и герметичные коннекторы позволяют проложить микроканалы к любой точке сети. Использование распределительных боксов позволяет из одной точки выполнить несколько разветвлений в разных направлениях.



Рисунок 64: Соединительные блоки (слева направо): газонепроницаемые коннекторы, коннекторы для прямого соединения микроканалов, заглушки

8.2.3 Микрокабели и волоконные модули

Микротрубки (каналы) предназначены для пневмопрокладки микрокабелей (к примеру, 96-ти волоконный микрокабель диаметром 6,4 мм может быть проложен в микротрубку внешним/внутренним диаметром 10мм/8мм) или для пневмопрокладки волоконных модулей диаметром от 1 до 3 мм, содержащих в себе до 12 волокон (к примеру, волоконный модуль из 4-х волокон диаметром 1 мм может быть проложен в микротрубку внешним/внутренним диаметром 5мм/3,5мм). Такие конструкции микрокабелей имеют малый вес и прокладываются только в трубках для обеспечения защиты от механических повреждений. Другими словами, микротрубки и микрокабели являются одной системой. Микрокабели прокладываются в потоке сжатого воздуха и могут иметь внешнюю оболочку, покрытую специальным составом, облегчающим пневмопрокладку.



Рисунок 65: Микрокабель

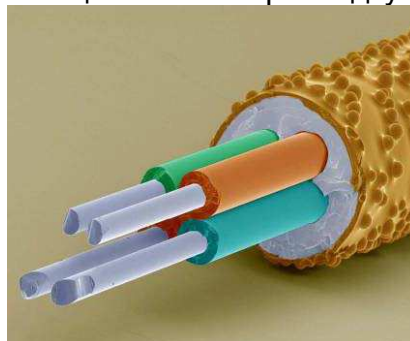


Рисунок 66: Волоконный модуль с 4 волокнами

Размер микроканала определяет возможный диаметр задуваемого микрокабеля и, как следствие, возможное количество волокон. Типичные размеры микроканалов и микрокабелей приведены в таблице ниже.

Внешний диаметр микроканала (мм)	Внутренний диаметр микроканала (мм)	Типичное количество волокон	Диаметр кабеля (мм)
16	12	24 - 216	9,2
12	10	96 - 216	6,5 - 8,4
10	8	72 - 96	6 - 6,5
7	5,5	48 - 72	2,5
5	3,5	6 - 24	1,8 - 2
4	3	12 - 22	1 - 1,6



Рисунок 67: Защитные микроканалы со свободным размещением

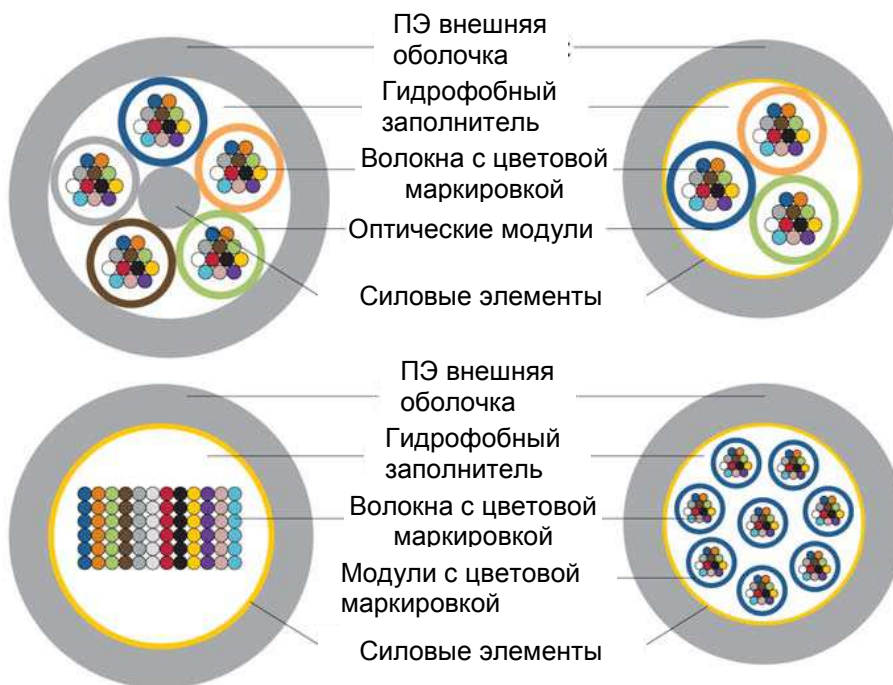


Рисунок 68: Микрокабели



Рисунок 69: Защитные каналы с интегрированными микроканалами

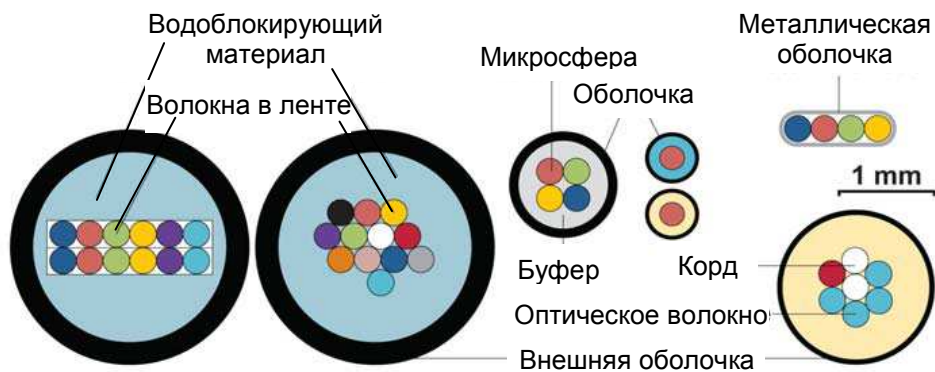


Рисунок 70: Примеры конструкции волоконного модуля

Расстояние, на которое могут быть проложены микрокабели методом пневмопрокладки, зависит от типов микроканалов, микрокабелей и оборудования для пневмопрокладки, а также от самой трассы с учётом всех поворотов и ответвлений.

8.2.4 Метод прокладки микрокабелей и волоконных модулей

Метод пневмопрокладки микрокабелей и волоконных модулей похож на метод задувания обычных полноценных кабелей, только используются менее мощные компрессорные установки и более лёгкие и компактные катушки с микрокабелем или специальные лотки для хранения волоконных модулей вместо тяжёлых стандартных кабельных барабанов.

8.2.5 Колодцы кабельной канализации

Колодцы кабельной канализации для пневмопрокладки микрокабелей используются те же, что и для традиционной прокладки стандартных кабелей. Возможно также использование небольших смотровых колодцев для размещения соединительных муфт.

8.2.6 Соединительные муфты для микрокабелей

Соединительные муфты для микрокабелей выполняют те же функции, что и стандартные муфты (защита от механических повреждений и герметизация вводов микроканалов), однако существует несколько различных конфигураций, зависящих от того, выполняется ли сращивание задуваемых волокон или сращивание/ответвление направляющих волокон микротрубок.

В микрокабельной системе, как правило, при монтаже муфт ответвляются или соединяются напрямую не волокна, а микротрубки. При ответвлении микротрубки в ней волокон нет. Волокна или микрокабель задувается только после того, как полностью проложена вся микроканальная сеть от узла доступа до помещения абонента.

8.3 Кабели, прокладываемые в грунте

Оптические кабели в грунте могут прокладываться непосредственно в грунт или в заранее проложенную защитную пластиковую трубку, что даёт возможность уменьшить механические нагрузки на кабель во время прокладки и повысить его защиту от механических повреждений во время эксплуатации. Прокладка кабелей в грунт, как правило, выполняется с помощью кабелеукладочной техники и специальных механизмов. При этом необходимо применять меры по

предотвращению повреждения других подземных сооружений, проходящих рядом с трассой прокладки подземного кабеля.

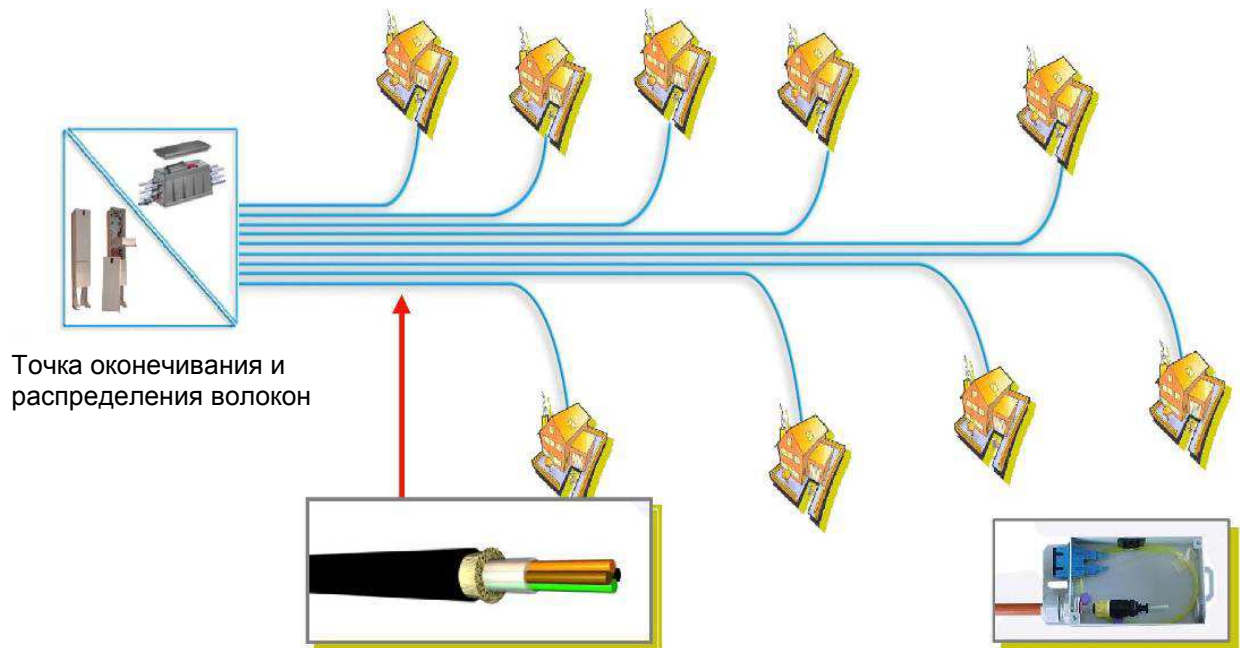


Рисунок 71: Структура и изделия подземной кабельной сети

8.3.1 Способы прокладки кабелей

Существует большое количество технологий и устройств для подземной прокладки кабелей: комплексные механизированные колонны машин и механизмов в составе автомобилей для транспортировки барабанов с кабелем, автокранов, тракторов, бульдозеров, экскаваторов и специальных механизмов (кабелеукладчиков, тяговых лебёдок, механизмов для пропарывания и прокола грунта).

8.3.2 Типы кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт

Конструкция кабелей для прокладки в грунт в основном состоит из тех же элементов, что и конструкция кабелей, прокладываемых в каналах кабельной канализации (оптические модули с волокнами, силовые элементы, внешняя полиэтиленовая оболочка). Единственные дополнительные элементы – это усиленные броневые покрытия для обеспечения механической прочности кабелей. Обычно кабели, прокладываемые в грунт, имеют двойную оболочку из полиэтилена с броневым покрытием в виде гофрированной металлической ленты. Для усиления конструкции кабелей для прокладки в «тяжёлых» грунтах (каменистых, подверженных смещению или деформации) используется броневое покрытие в виде одного или двух слоёв оцинкованной проволоки. Существуют также конструкции кабелей без металлических элементов. Для обеспечения механической прочности таких кабелей используются арамидные нити и стеклопластиковый центральный силовой элемент.



Рисунок 72: Кабель с двойной полиэтиленовой оболочкой и металлической гофрированной лентой



Рисунок 73: Полностью диэлектрический кабель (без металлических элементов)

8.3.3 Защита кабеля от попадания разряда молнии

Использование кабелей без металлических элементов в местах большой грозоактивности было бы наилучшим решением. Однако такие диэлектрические кабели имеют слабую механическую прочность по сравнению с бронированными кабелями. Обычно броня из гофрированной металлической ленты может выдержать прямое попадание разряда молнии (особенно, если в конструкции кабеля больше нет металлических элементов), однако при этом необходимо обеспечить заземление броневое покрытие по всей трассе прокладки. Другим методом защиты кабелей от прямого попадания молнии является прокладка грозозащитных тросов вдоль кабеля.

8.3.4 Защита кабеля от грызунов

Наличие в кабеле броневое покрытие в виде металлической гофрированной ленты является наилучшей защитой от повреждения грызунами. Если кабель не имеет металлических элементов, то роль защитного элемента выполняют арамидные нити. Кроме того, в грунтах, зараженных грызунами, кабель может прокладываться в защитной пластиковой трубке.

8.3.5 Защита кабеля от термитов

Оболочка кабеля, выполненная из нейлона, является наилучшей защитой от термитов.

8.3.6 Смотровые устройства и колодцы

В зависимости от трассы прокладки доступ к соединительным муфтам и эксплуатационному запасу кабеля осуществляется с помощью смотровых устройств, установленных непосредственно в грунте, либо колодцев кабельной канализации.

8.3.7 Оптические муфты

Оптические муфты для монтажа кабелей, прокладываемых непосредственно в грунте, имеют ту же конструкцию, что и муфты, устанавливаемые в колодцах кабельной канализации. В некоторых случаях муфты могут иметь дополнительную механическую защиту.

Для размещения муфты в грунте, как правило, выкапывается котлован размером не менее 2 м x 2 м для обеспечения условий соблюдения допустимого радиуса изгиба технологического запаса кабеля, глубина котлована должна на 100 мм превышать проектную глубину залегания кабеля.

8.4 Кабели, подвешиваемые на опорах

Подвес кабелей на опорах является наиболее эффективным и дешёвым методом прокладки кабелей абонентской разводки на распределительном сегменте сети. Главное преимущество такой прокладки – это использование существующих опорных конструкций без необходимости раскапывать грунт или прокладывать каналы кабельной канализации. Использование современных методов, механизмов и приспособлений позволяет быстро и просто выполнять подвес кабеля.

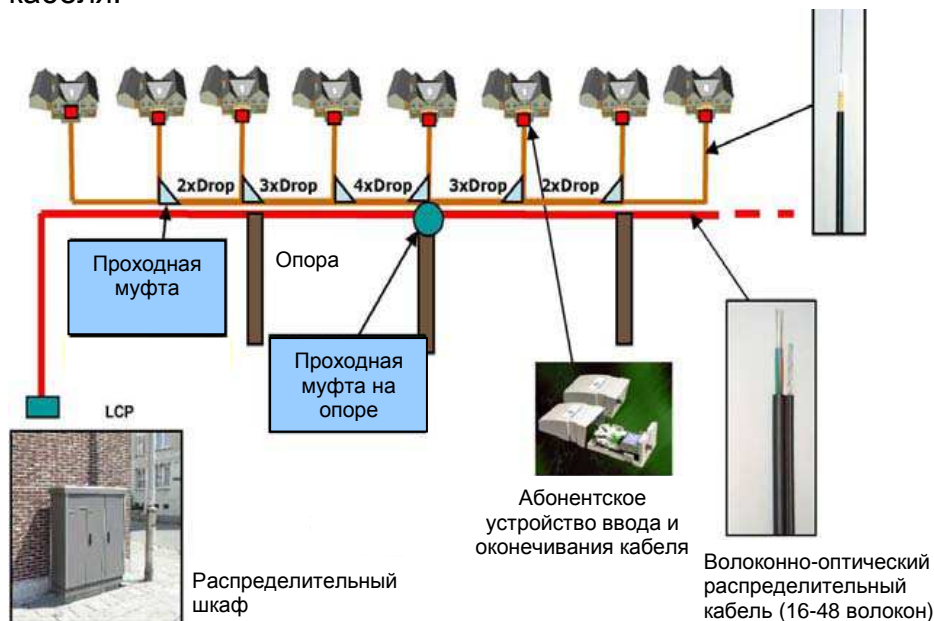


Рисунок 74: Типичные изделия, применяемые для строительства воздушной волоконно-оптической линии связи

8.4.1 Учёт нагрузок на опоры

Существующие опоры, как правило, уже используются для подвеса большого количества различных типов кабелей. Поэтому при новом строительстве воздушной волоконно-оптической линии связи необходимо учитывать максимально допустимую нагрузочную ёмкость используемых для подвеса опор, которая определяется величиной и направлением тяговых усилий закреплённых кабелей.

8.4.2 Типы кабелей, применяемых для строительства воздушных ВОЛС

Существует несколько основных типов кабелей: самонесущие (ADSS или другие); типа «8» с вынесенным несущим элементом, навивочные или вмонтированные в фазный провод (OPPC) или грозозащитный трос (OPGW).

Самонесущий полностью диэлектрический кабель типа ADSS наиболее подходит для случаев, где важно наличие хорошей электрической изоляции (например, при подвесе совместно с кабелями электропитания).

Кабель типа «8» содержит несущий элемент, который вынесен за пределы кабельной сердцевины. В кабеле ADSS несущий элемент является частью конструкции.



Рисунок 75: Навивка кабеля на грозотрос

Кабели, навиваемые или подвешиваемые на существующий грозозащитный трос или фазный провод ЛЭП, имеют более лёгкую конструкцию и малый диаметр. Такая технология подвеса кабеля требует наличие специальных навивочных механизмов.

Широкое распространение в мировой практике получили кабели типа OPGW, встроенные в трос грозозащиты или фазный провод, причем возможны различные вариации конструктивного исполнения кабелей этого типа. Очевидным недостатком таких линий является повышенная вероятность повреждения троса и кабеля ударами молний, что нередко происходит в грозоопасных районах, а также вследствие коротких замыканий на ЛЭП, вызванных разными причинами. Чтобы избежать подобных ситуаций, приводящих к перерывам в работе линий связи, была разработана специальная технология производства троса и кабеля, подвешиваемого на ЛЭП.

Трос состоит из проволок. Они могут быть стальными или алюминиевыми, но наибольшее распространение получили стальные, покрытые алюминием (алюминированные) и алдреевые - из сплава алюминия с магнием, кремнием и железом. Оптические кабели типа OPGW могут быть выполнены с гибкими полимерными или жесткими металлическими модулями, в которых уложены оптические волокна.

Кабели, подвешиваемые на опорах, имеют, как правило, такие же конструктивные элементы, что и кабели, прокладываемые непосредственно в грунт или в каналах кабельной канализации. Однако требования к стойкости кабелей воздушных ВОЛС к механическим и климатическим воздействиям значительно выше. Это связано с возникающими дополнительными нагрузками на кабель при обледенении, воздействии ветра и ультрафиолетового излучения.

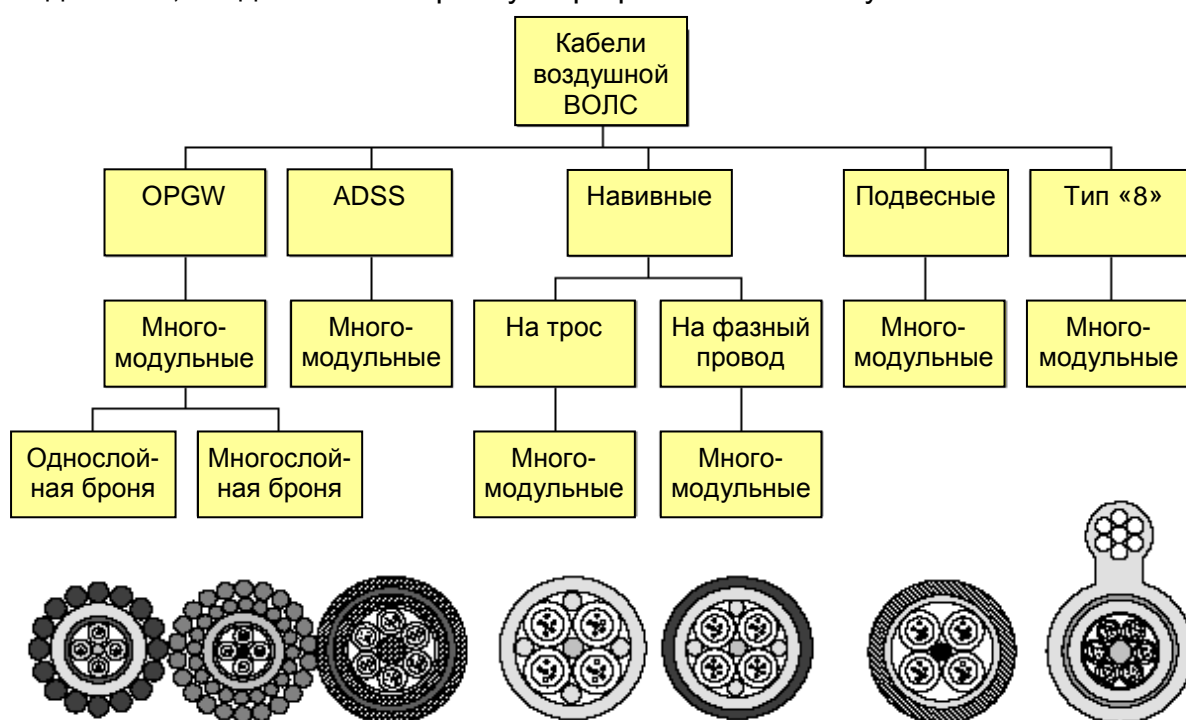


Рисунок 76: Типы кабелей воздушной ВОЛС

8.4.3 Кабельная арматура

Для крепления волоконно-оптических кабелей к опорам, столбам и другим сооружениям разработаны специальные зажимы. Внутренняя поверхность зажимов, соприкасающаяся с оболочкой кабеля, выполнена из соответствующих материалов (например, полиуретана), препятствующих проскальзыванию кабеля внутри зажима, и в то же время способных сохранять свои свойства в течение всего срока эксплуатации. В зависимости от назначения зажимы делятся на анкерные и поддерживающие. Анкерные зажимы применяются при устройстве узлов натяжения кабеля, выполняемых в местах поворота трассы (угол более 30°), при изменении высоты подвеса кабеля, при спуске кабеля с опор, при вводах в здания, а также на прямых участках для соблюдения стрелы провеса кабеля. Поддерживающие зажимы предназначены для соблюдения высоты подвеса и стрелы провеса кабеля. Они применяются при устройстве проходных узлов. В этих узлах кабель фиксируется для предотвращения его проскальзывания в обе стороны.

При навивке волоконно-оптического кабеля на грозозащитный трос или фазный провод существует необходимость применения зажима такой конструкции, которая препятствует не только продольному перемещению, но и разматыванию кабеля с троса, на который он навит. Зажимы подобной конструкции применяются также для создания гальванического соединения между несущим тросом кабеля и проводом заземления, а также между двумя тросами.

Для крепления поддерживающих и анкерных зажимов на опорах и столбах разработана специализированная арматура. Примерами таких устройств могут служить кронштейны. Кронштейны чаще изготавливаются из сплавов стали или алюминия. Конструкция обычно предусматривает возможность крепления кронштейна как болтами (например, к металлическим частям опор), так и металлическими полосами (например, к столбам).

Для защиты подвесных кабелей от вибрации или так называемого «галопирующего» эффекта применяются демпферные устройства (виброгасители). Наиболее распространенные типы виброгасителей - подвесные и спиральные. Выбор конкретного типа виброгасителя и их размещение производится на стадии проектирования с учетом определяющих факторов - массогабаритных характеристик, стрелы провеса, силы и скорости ветра и т.п.

8.4.4 Воздействие на кабель растягивающих усилий

Кабели воздушной ВОЛС прокладываются путём протягивания с помощью троса-заготовки через установленную на опорах арматуру. Затем протянутый кабель натягивается с помощью лебедки и закрепляется в необходимых узлах. При этом контролируется стрела провеса, которая должна соответствовать проектной. Во время прокладки и при эксплуатации к кабелю прикладываются значительные растягивающие усилия, величина которых может меняться



Рисунок 77: Прокладка кабеля воздушной ВОЛС

в зависимости от условий окружающей среды - температуры воздуха, наличия негативных климатических факторов (обледенение, ветровая нагрузка). Конструкция кабелей воздушных ВОЛС должна обеспечивать стойкость к таким механическим и климатическим воздействиям.

8.4.5 Муфты для защиты сростков волокон подвесных оптических кабелей

Смонтированная муфта может располагаться непосредственно на опоре или столбе, а также в котловане рядом с опорой. В месте крепления муфты к опоре располагается и технологический запас кабеля. Дополнительно муфта может быть оборудована специальной защитой от воздействия ультрафиолетового излучения или пуленепробиваемым металлическим кожухом.

8.4.6 Вандализационная защита кабелей и муфт воздушных ВОЛС

Кабели и муфты воздушных ВОЛС имеют более слабую вандализационную защиту, чем кабели и муфты прокладываемые/устанавливаемые непосредственно в грунте или кабельной канализации. К примеру, подвесная кабельная муфта или установленная на опоре оптическая муфта могут быть повреждены случайным или преднамеренным выстрелом из огнестрельного охотничьего оружия. Кабели, имеющие бронированное покрытие в виде гофрированной металлической ленты (к примеру, кабель типа «8»), относительно защищены от прямого попадания пули или охотничьей дроби благодаря небольшой энергии удара из-за большого расстояния. Наилучшую вандализационную защиту имеют кабели типа OPGW с бронированным покрытием в виде стальных проволок.

Корпус оптической муфты, как правило, не имеет металлических элементов и поэтому защищается с помощью специального металлического кожуха.

8.5 Устройства с преинсталлированными коннекторами

Кабели, распределительные и оконечные устройства могут поставляться с преинсталлированными в заводских условиях оптическими коннекторами. Такие устройства обычно устанавливаются на распределительном участке сети между первичной точкой распределения волокон и конечной точкой подключения абонента, и позволяют быстро и удобно, путём простой коммутации волокон, подключать жилые здания.

Примеры таких устройств с преинсталлированными коннекторами, устанавливаемые как внутри, так и снаружи помещений, приведены ниже.

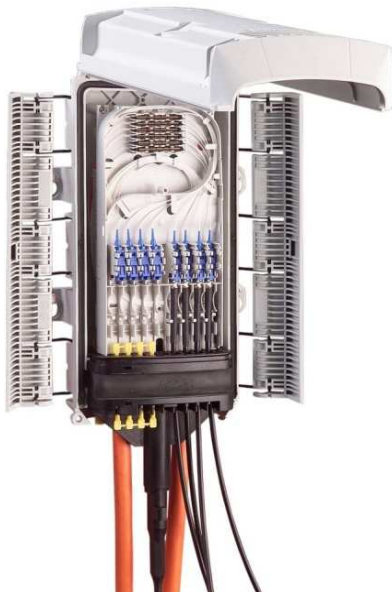


Рисунок 78: Первая строка: полностью герметичные коннекторы и устройства коммутации.
Вторая строка: кабельные сборки с прединсталлированными коннекторами в герметичных минимуктах.
Третья строка: герметичные муфты с установленными стандартными коннекторами

8.6 Шкафы наружной установки

Сеть FTTH содержит телекоммуникационное оборудование, которое может быть установлено как под землёй, так и над уровнем земли. Шкафы наружной установки могут содержать конструктивные элементы, устанавливаемые непосредственно в грунте и над уровнем земли.

Современные типы шкафов наружной установки выпускаются различных модификаций и имеют более компактную и менее заметную конструкцию подземной и наземной частей по сравнению со стандартными большими шкафами, которые используются для построения медножильной или VDSL сети. Однако, компактный размер не является единственным достоинством:

- **Стоимость** – Шкафы наружной установки могут быть достаточно экономичным методом организации точки доступа сети при совместимости со строительной спецификацией и методологией. При модернизации сети модульная конструкция шкафов позволяет наращивать ёмкость без установки дополнительных дорогостоящих конструкций.
- **Лёгкость обслуживания** – В зависимости от местоположения, монтаж и размещение оптических соединительных муфт в подземных смотровых устройствах обычно не представляет особых трудностей. Однако, в некоторых случаях, длительное воздействие влажной окружающей среды может превратить стандартные колодцы кабельной канализации или подземные смотровые устройства в грязевой бассейн, что значительно усложняет доступ и увеличивает время проведения монтажа. Шкафы наружной установки обеспечивают лёгкий доступ к установленным компонентам во время монтажа и технического обслуживания даже при негативных воздействиях окружающей среды благодаря модульной конструкции, в которой зоны ввода, крепления и оконечивания оптических кабелей разделены на отдельные независимые отсеки.

Типичные шкафы наружной установки выполняют три функции:

1. **Распределение каналов кабельной канализации.** В нижней части шкафа установлен отсек для ввода, соединения или распределения каналов кабельной канализации. Этот блок может также использоваться как точка доступа к каналам и трубкам при пневмопрокладке кабелей, волоконных модулей и микротрубок.
2. **Ввод и крепление кабелей и каналов.** В средней части шкафа установлен отсек для ввода, крепления и распределения входящих защитных трубок, волоконно-оптических кабелей или микротрубок.
3. **Сращивание и распределение оптических волокон.** В верхней части шкафа установлен отсек для сращивания и распределения волокон различных типов оптических кабелей.



Рисунок 79: Распределение каналов кабельной канализации



Рисунок 80: Ввод и крепление кабелей и каналов



Рисунок 81: Сращивание и распределение оптических волокон

Существуют шкафы наружной установки, в которых устанавливается как пассивное, так и активное оборудование. В этом случае конструкция шкафа предусматривает наличие элементов, обеспечивающих заданный климатический режим для стабильной работы установленного активного оборудования.



Рисунок 82: Примеры конструкций шкафов наружной установки

Шкафы наружной установки могут быть оборудованы устройствами с прединсталлированными коннекторами и стабикабелями. Такие шкафы имеют прединсталлированный в заводских условиях кабель, который направляется к распределительной муфте с установленными адаптерами и подключается путём простой коммутации.

Компактные типы шкафов обычно устанавливаются на последней точке распределения волокон и могут быть расположены непосредственно в точке ввода в здание или вдоль улицы. Такие типы шкафов обеспечивают лёгкий доступ к установленным компонентам, а также, при необходимости, лёгкий ремонт элементов конструкции.

8.7 Альтернативные методы прокладки оптических кабелей

Как дополнение к стандартным методам существуют альтернативные методы прокладки оптических кабелей с использованием инфраструктуры сточной канализации, газопроводных систем, каналов и траншей, а также других транспортных систем.

Использование водопроводных и газопроводных систем для прокладки кабеля накладывает дополнительные требования по минимизации ремонтных и эксплуатационных работ, которые, как правило запрещены, и могут проводиться только по согласованию с владельцем указанных систем.

8.7.1 Прокладка оптических кабелей в каналах сточной канализации

Использование городских систем сточной канализации для прокладки кабеля является достаточно экономичным решением, поскольку нет необходимости проводить земляные работы. При этом к городской сети сточной канализации подключены, как правило, все жители (потенциальные абоненты сети FTTH).

Размеры каналов городской сточной канализации могут быть различных значений: от труб диаметром 200 мм и до больших туннелей. Большинство каналов сточной канализации имеют диаметр от 200 мм до 350 мм, который позволяет легко проложить один или несколько микрокабелей.

Существует различные способы прокладки кабелей в каналах сточной канализации, которые зависят от значений поперечного сечения каналов. Один из способов – это использование гофрированных металлических трубок для транспортировки кабеля, которые фиксируются с помощью металлических распорок к внутренней стенке канала сточной канализации без необходимости

просверливания отверстий. Такая операция выполняется с помощью специального робота.

8.7.2 Прокладка оптических кабелей в газопроводных трубах

Газопроводные трубы также могут использоваться для прокладки оптических кабелей. При этом на трубах устанавливаются специальные порты для ввода и вывода прокладываемых кабелей.

Кабель прокладывается в газовой трубе путём крепления к специальным микропарашютам, которые вводятся в газовую трубу через установленный порт и далее захватываются потоком идущего в трубе газа или задуваются с помощью сжатого воздуха.

Кабели, проложенные в газопроводных трубах, отлично защищены от механических и климатических воздействий.

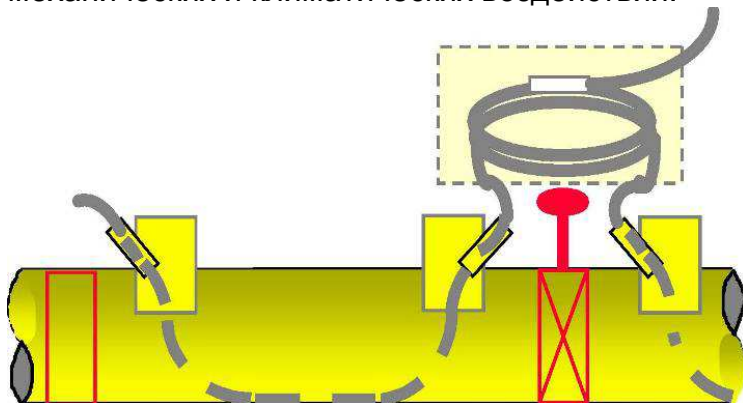
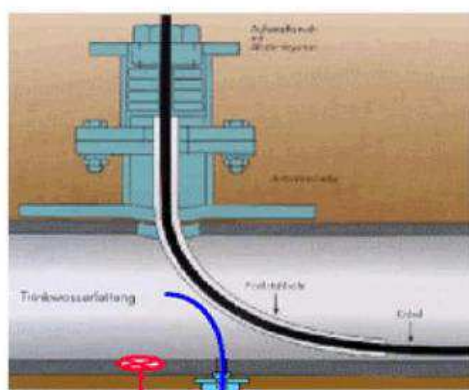


Рисунок 83: Секция газовой трубы с установленными портами входа и выхода кабеля

8.7.3 Прокладка оптических кабелей в водопроводных трубах

Прокладка волоконно-оптических кабелей в водопроводных трубах осуществляется тем же методом, что и в газопроводных.



- фланцевая система устанавливается на трубах диаметром 200 мм и 300 мм
- кабели должны удовлетворять жёстким санитарным требованиям по прокладке в трубах с питьевой водой
- каждая точка ввода кабеля (фланцевая система) является потенциальной точкой присутствия POP

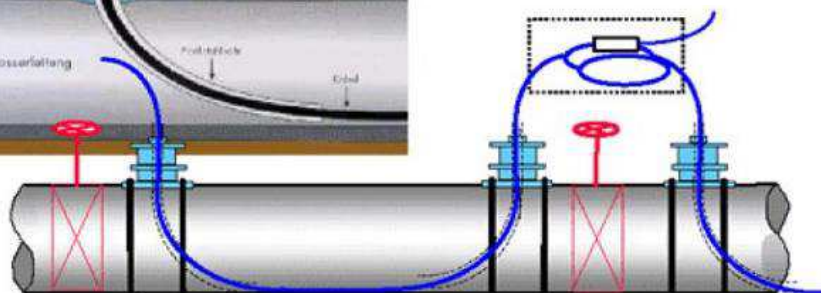


Рисунок 84: Секция водопроводной трубы с установленной фланцевой системой для прокладки кабеля

8.7.4 Прокладка оптических кабелей по дну водных каналов и водонаправляющих траншей

Для прокладки вдоль водных каналов и траншей используются оптические кабели усиленной конструкции для обеспечения механической прочности при воздействии течения воды и нестойких влажных грунтов.

8.7.5 Использование подземных и наземных транспортных туннелей для прокладки оптических кабелей

Волоконно-оптические кабели могут быть проложены вдоль стен подземных или наземных транспортных туннелей вместе с другими сигнальными или электропитающими кабелями. Кабели могут укладываться на консоли, закрепленные вдоль стены туннеля или крепиться по той же технологии, что и в каналах сточной канализации.

Существует два основных требования к кабелям, прокладываемым в туннелях: пожарная безопасность (негорючесть) и стойкость к повреждению грызунами.

Требования к кабелям, не распространяющим горение, изложены в рекомендации IEC TR62222 «Требования к пожарной безопасности кабелей связи, прокладываемых внутри помещений».



Рисунок 85: Прокладка кабеля в туннеле метрополитена

Необходимо также учитывать, что и все изделия для крепления кабеля, а также соединительные муфты и оконечные устройства, устанавливаемые в туннелях, должны быть выполнены из материалов, не распространяющих горение.

Второе основное требование к кабелям, прокладываемым в туннелях – это наличие защитных броневых покровов (например, стальной гофрированной ленты) для защиты от повреждения грызунами.

9 Оптическое волокно

9.1 Выбор оптического волокна для строительства сети FTTH

Существует различные типы оптических волокон. Для построения сетей FTTH обычно используется одномодовое волокно, однако в некоторых случаях возможно использование многомодового волокна. Выбор типа волокна зависит от множества факторов, некоторые из которых приведены ниже:

- **Архитектура сети** - Архитектура сети зависит от необходимой скорости передачи данных по волокну, а также от максимально возможного оптического бюджета сети. Оба эти фактора влияют на выбор волокна.
- **Размер сети** – Размер сети может определяться количеством подключённых и обслуживаемых абонентов. Однако в другом контексте такой фактор определяется физической длиной проложенных волоконно-оптических линий. При этом оптический бюджет линии определяет насколько далеко от абонента будет расположен сетевой узел POP. На оптический бюджет линии влияют все пассивные компоненты, установленные на сети, включая оптическое волокно.
- **Тип волокна, используемый на существующей сети** – Если происходит модернизация или расширение существующей волоконно-оптической сети, то необходимо, чтобы новый сегмент сети был совместим с волокном, используемым на существующем сегменте.
- **Ожидаемый срок эксплуатации** – Сети FTTH разрабатываются с ожидаемым сроком эксплуатации не менее 30 лет. Поэтому очень важно, чтобы при строительстве сетей FTTH учитывалось возможное развитие в будущем. Это же касается и выбора типа волокна, которое должно использоваться во время всего срока эксплуатации сети.

9.1.1 Общие сведения об оптических волокнах

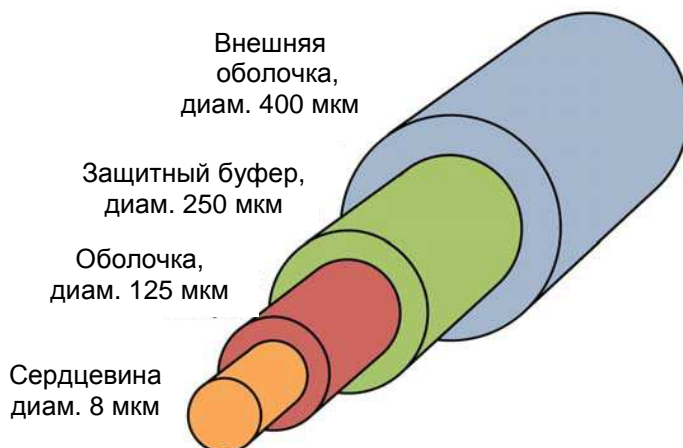


Рисунок 86: Конструкция одномодового оптического волокна

Оптическое волокно является так называемым «каналом для передачи светового сигнала», позволяющим транспортировать импульсы лазерного излучения, генерируемые лазером или другими оптическими источниками излучения, к оптическому приёмнику. Передача оптического сигнала в волокне может осуществляться на большие расстояния с поддержкой высокоскоростных приложений, что не могут на сегодняшний день обеспечить сети на основе медножильных кабелей.

Развитие современной волоконно-оптической технологии началось в 1960-х годах и на сегодняшний день уже существует большое количество различных типов оптических волокон, которые стандартизированы и широко используются для построения современных волоконно-оптических линий связи.

Оптическое волокно изготавливается главным образом из плавленного кварца (SiO₂) в ходе нескольких технологических операций. Сначала изготавливают заготовки для производства оптического волокна. Они представляют собой стеклянные стержни, состоящие из стекла сердцевинки и стекла оболочки. Далее из этих заготовок, при сильном нагревании одного конца, производится вытяжка волоконного световода, при этом одновременно наносится первичное буферное покрытие, являющееся его защитной оболочкой.

Конструктивно оптическое волокно состоит из сердцевинки, оболочки и внешнего покрытия. Сердцевинка – это светопередающая часть волокна, то есть сердцевинка является так называемым оптическим каналом, по которому распространяется световое излучение.

Оболочка обеспечивает переотражение света в сердцевинку волокна таким образом, чтобы световые волны распространялись только по сердцевинке волокна и не уходили за его пределы. Защитная оболочка обеспечивает механическую прочность волокна. Такие буферные оболочки обычно бывают многослойными, изготавливаются из полимерных материалов и имеют диаметр от 250 до 900 мкм.

Диаметр сердцевинки оптического волокна может иметь различные значения в зависимости от типа волокна. Существует большое количество параметров, характеризующих передачу оптического сигнала в волокне. Два основных параметра – это затухание и дисперсия.

Затухание – это уменьшение интенсивности светового луча (сигнала) в зависимости от расстояния при его прохождении через сердцевинку волокна. Затухание сигнала в волоконной оптике обычно измеряют в единицах дБ, а затухание сигнала в оптическом волокне - в дБ/км. Затухание - важный фактор, ограничивающий передачу цифрового сигнала на большие расстояния. Основное ослабление излучения в оптических системах вызвано рассеиванием, поглощением и отражением в местах соединения волокна и в самом волокне.

Дисперсия - это рассеяние во времени спектральных и волновых (модовых) составляющих оптического сигнала. Существуют три типа дисперсии: межмодовая, хроматическая и материальная. Ввиду того, что практически невозможно гарантировать идеальное прохождение светового излучения строго по вытянутой линии, часто создается такая ситуация, что импульс содержит несколько волн (мод), которые приходят к приемнику не одновременно, а с некоторым интервалом времени. Те моды, которые проходят прямолинейно, быстрее добираются до конца волокна, другие – зигзагообразно и, следовательно, немного запаздывают. Этот временной диапазон прохождения разных волн или мод одного излучения называется межмодовой дисперсией.

Световые волны, помимо разного прохождения траектории, имеют и неодинаковый диапазон длин, отсюда, если вспомнить законы физики, становится понятно, почему короткие волны быстрее достигают конечной цели, чем длинноволновые. Эта разница во времени получила название хроматической дисперсии.

Если сердцевина волокна имеет неоднородные участки среды, световые волны будут неодинаково совершать свою траекторию и, следовательно, придут к концу волокна в разное время. Эта временная разница называется материальной дисперсией.

Существует множество других параметров, определяющих распространение световых волн в оптическом волокне. Подробное описание этих параметров приведено в спецификации IEC 60793.

9.1.2 Одномодовое оптическое волокно

Одномодовое волокно имеет диаметр сердцевины меньше 10 мкм. При такой геометрии в волокне может распространяться только один луч (одна мода). Большинство волоконно-оптических систем передачи данных базируются на этом типе волокна. Одномодовые волокна обладают лучшими характеристиками по затуханию и по полосе пропускания, так как в них распространяется только один луч. Однако, одномодовые источники излучения в несколько раз дороже многомодовых.



Рисунок 87: Распространение светового луча в волокне

Для построения сетей FTTH обычно используются одномодовые оптические волокна стандарта ITUT G.652. Однако, совсем недавно на рынке телекоммуникаций появился новый тип оптического волокна, не чувствительного к макроизгибам, которое позволяет уменьшить значения оптического затухания и минимального радиуса изгиба, что очень важно именно для сетей FTTH. Такое волокно стандартизировано в ITU G.657.

9.1.3 Градиентное многомодовое волокно

Многомодовые волокна имеют диаметр сердцевины 50 мкм или 62,5 мкм, что делает возможным распространение большого числа лучей (много мод). Лучи света проходят по такому волокну по волно- или винтообразным спиральям. Чем дальше отклоняется луч света от оси световода, тем сильнее он заворачивается обратно к оси. При этом, так как показатель преломления от оси к краю сердцевины уменьшается, увеличивается скорость распространения света в среде. Благодаря этому более «длинные» оптические пути компенсируются меньшим временем прохождения. В результате, различие временных задержек различных лучей почти полностью исчезает.

Многомодовые волокна более удобны при монтаже и их проще оконечить оптическими коннекторами с малыми потерями. На многомодовое волокно рассчитаны излучатели, которые значительно дешевле одномодовых; однако, само многомодовое волокно гораздо дороже одномодового. Многомодовые волокна позволяют передавать сигналы на небольшие расстояния и с ограниченной полосой пропускания, что приемлемо для локальных сетей связи, таких как центры обработки данных, небольшие офисные или домовые сети, но не достаточно для магистральных линий.

Стандарт ISO/IEC 11801 определяет основные параметры многомодовых волокон, которые имеют градацию OM1, OM2, OM3 и OM4.

9.1.4 Волокно, не чувствительное к макроизгибам

Как правило, трасса прокладки внутридомового волоконно-оптического кабельного участка сети имеет очень сложную структуру с большим количеством поворотов в ограниченном пространстве и достаточно критичным для стандартного волокна радиусом изгиба. Применение нового типа волокна стандарта ITU G.657 позволяет прокладывать и оконечивать волоконно-оптические кабели с такой же лёгкостью, как и обычные медножильные. Волокна в таких оптических кабелях получили название «не чувствительные к макроизгибам», и имеют стабильные оптические характеристики при радиусе изгиба до 7,5 мм, а некоторые типы - до 5 мм.

Рекомендация G.657 определяет две категории волокон:

Категория А содержит рекомендации к волокнам, обладающими теми же характеристиками передачи и соединения, что и волокна рекомендации G.652.D, но имеют улучшенные характеристики потерь на изгибе и спецификации, допускающие более плотное размещение. Такая категория имеет две подкатегории с разными требованиями по минимальному радиусу изгиба: волокно G.657.A1 (предыдущая версия G.657 (12/2006).A) и волокно G.657.A2.

Категория В содержит рекомендации к волокнам, пригодным для передачи данных на длинах волн 1310, 1550 и 1625 нм на ограниченные расстояния внутри помещений. Эти волокна характеризуются иными характеристиками передачи и соединения по сравнению с волокнами G.652, но при этом допускают очень малые радиусы изгибов. Такая категория имеет две подкатегории с разными требованиями по минимальному радиусу изгиба: волокно G.657.B2 (предыдущая версия G.657 (12/2006).B) и волокно G.657.B3.

9.2 Оконечивание волокон

Все волоконно-оптические кабели, используемые в оптических сетях, должны оконечиваться с двух сторон. Данный раздел описывает рекомендации по решению проблем, связанных с оконечиванием большого количества волокон и организации их выкладки на севых узлах POP, узлах доступа и шкафах наружной установки.

9.2.1 Оптические панели

Оптическая панель (ODF) является устройством, где все волокна входящих линейных кабелей должны быть преобразованы в коммутационный интерфейс для подключения к активному оборудованию. ODF, как правило, устанавливаются в стойку оптического кросса. Один такой кросс может обеспечить соединение до 1 400 волокон. Большие узлы агрегации могут вмещать в себя несколько таких оптических кроссов.



Рисунок 88: Активное оборудование на узле POP



Рисунок 89: Пристанционный колодец



Рисунок 90: Небольшой узел POP

Линейные кабели оканчиваются в оптических панелях различными способами. Каждое оптическое волокно линейного кабеля сращивается с волокном индивидуального оптического шнура, у которого с одной стороны прединсталлирован коннектор (пигтейлом). В большинстве случаев ODF выполняет роль устройства гибкой коммутации волокон линейных кабелей с портами активного оборудования. Срезы и запас волокон укладываются на специальные отдельные кассеты, позволяющие разделить волокна на одиночные элементы или одиночные цепи для удобства обслуживания.



Рисунок 91: Шкаф наружной установки с системой климат-контроля

Шкафы наружной установки со встроенной системой климат-контроля также могут содержать компактные оптические кроссы.

На узле агрегации, как правило, устанавливается система кабельростов для прокладки входящих линейных кабелей, а также система коробов для организации выкладки оптических шнуров (патчкордов), коммутирующих порты активного оборудования с портами конечных устройств.

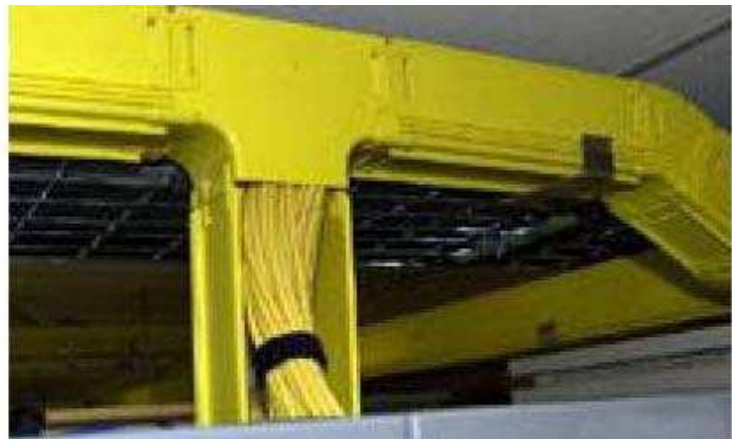
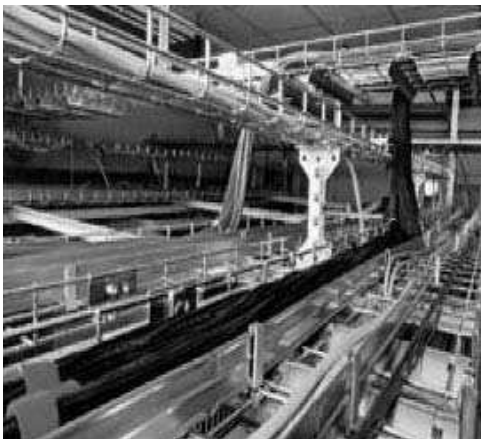


Рисунок 92: Примеры систем кабельростов и коробов

Сетевые узлы, узлы доступа, а также шкафы наружной установки с климат-контролем могут оборудоваться системами бесперебойного питания (UPS), которые позволяют поддерживать работоспособность активного оборудования в течение некоторого времени при внезапном отключении электропитания.

Кроме того, важным элементом на узле агрегации является система охлаждения помещения автозала, где установлено активное оборудование.



Рисунок 93: Источник бесперебойного электропитания



Рисунок 94: Устройство охлаждения воздуха

9.2.2 Шкафы наружной установки

Шкафы наружной установки являются точкой коммутации и распределения волокон распределительных кабелей и кабелей абонентской разводки. Шкафы могут быть металлическими или пластиковыми. Шкафы располагаются в точках большой концентрации конечных пользователей и обеспечивают удобный доступ к установленным пассивным оптическим компонентам.

Шкафы наружной установки часто используются для размещения оптических сплиттеров в сетях PON, что позволяет быстро подключать конечных пользователей. Шкафы также используются для построения топологии сети «точка-точка».

На сегодняшний день важным фактором при построении сети является скорость подключения конечных пользователей. Поэтому современные типы шкафов изготавливаются с прединсталлированными оптическими кабелями (стабкабелями), которые методом простой коммутации подключаются к муфте или оконечному устройству. Такие шкафы также могут быть оборудованы PON сплиттерами с прединсталлированными коннекторами, которые при необходимости могут быстро подключиться к сети без выполнения работ по сращиванию оптических волокон.



Рисунок 95: Типичный вид шкафа наружной установки



Рисунок 96: Шкаф с прединсталлированными оптическими кабелями

9.3 Коннекторы, патчкорды и пигтейлы

После ввода линейных кабелей индивидуальные оптические волокна должны быть оконечены для возможности распределения и/или подключения к активному оборудованию. Оконечивание индивидуальных волокон линейных оптических кабелей выполняется путём их сращивания с оптическими шнурами гибкой конструкции с прединсталлированным с одной стороны коннектором, называемыми пигтейлами. Дополнительно, для соединения пигтейлов с портами активного оборудования необходимо иметь оптические шнуры с прединсталлированными с двух сторон коннекторами (патчкорды), которые с помощью адаптеров подключаются к пигтейлам и портам активного оборудования.

Оптические шнуры, как правило, имеют следующую конструкцию:

- Пигтейлы имеют оболочку (буферное покрытие) диаметром 900 мкм с возможностью разделки (снятия покрытия) на длину не менее 1,5 м, и стандартную общую длину 2,5 м.
- Патчкорды имеют усиленную арамидными нитями или силовыми элементами конструкцию и внешнюю оболочку диаметром от 1,6 до 3,0 мм, выполненную из материала LSZH (не распространяющего горение и не выделяющего галогены).

И пигтейлы, и патчкорды имеют прединсталлированные оптические коннекторы, конструкция которых состоит из прецизионного наконечника – феррулы для центровки положения оптического волокна в коннекторе, и корпуса определённой конструкции. Коннекторы соединяются друг с другом с помощью адаптеров, имеющих центрирующую вставку. Фиксация коннекторов в адаптере может быть байонетной, резьбовой или замковой. В итоге, готовое соединение выглядит следующим образом: коннектор – адаптер – коннектор. При соединении, две феррулы коннекторов с закреплёнными волокнами должны располагаться в центрирующей вставке адаптера как можно более плотно, соприкасаясь друг с другом по прямой линии (физический контакт). При этом место соединения торцов волокон не должно иметь даже воздушного зазора в зоне контакта, который может привести к увеличению вносимых потерь передаваемого оптического сигнала. Главная причина увеличения затухания в таком соединении волокон – это смещение осей феррул и угла между ними, а также френелевское отражение оптического сигнала на границе раздела двух оптических сред.

Для одномодового волокна с диаметром сердцевины 8,3 мкм и многомодового волокна с диаметром сердцевины 50/62,5 мкм используются феррулы диаметром 2,5 мм (для стандартных коннекторов) или 1,25 мм (для малогабаритных коннекторов).

9.3.1 Наиболее распространённые типы оптических коннекторов

ST (также известный под названием VFOC, IEC 61754-2)

Коннектор с байонетным замком был первой удачной разработкой, позволяющей получить надёжный разъёмный физический контакт. Коннектор имеет керамическую феррулу диаметром 2,5 мм с выпуклой торцевой поверхностью диаметром 2 мм. Коннекторы ST просты и надёжны в эксплуатации, легко устанавливаются, относительно недороги. Однако простота конструкции имеет и отрицательные стороны: эти коннекторы чувствительны к резким усилиям, прилагаемым к кабелю, а также к значительным вибрационным и ударным нагрузкам.

Коннекторы ST и сейчас можно встретить в оптических подсистемах локальных сетей (LAN).



Коннектор типа ST



Адаптер типа ST

DIN/LSA (IEC 61754-3, DIN 47256)

Компактный коннектор этого типа был широко распространён в Германии и других европейских государствах. Коннектор имеет стандартный керамический сердечник диаметром 2,5 мм, который выступает далеко за пределы корпуса. Пластмассовый корпус снабжен ключом, препятствующим вращению сердечника вокруг своей оси при вкручивании в адаптер.

SC (IEC 61751-4)

Корпус коннектора типа SC в поперечном сечении прямоугольный, при этом наконечник не связан жёстко с корпусом и хвостовиком. Подключение и отключение коннектора SC производится линейно («вставить-нажать»), что предохраняет феррулы от прокручивания друг относительно друга в момент фиксации в адаптере. Фиксирующий механизм открывается только при вытягивании коннектора за корпус. Коннектор типа SC имеет компактный размер, что позволяет его использовать в оптических устройствах с высокой плотностью размещения адаптеров. Такой тип коннектора может иметь вид симплексного или дуплексного. Несмотря на то, что коннектор типа SC является одной из самых старых разработок, на сегодняшний день он широко используется для построения современных оптических сетей благодаря своим отличным оптическим и механическим характеристикам.



Коннектор типа SC



Адаптер типа SC

MU (IEC 61754-6)

Вероятно, это была первая разработка компактного коннектора, которая представляет собой уменьшенный приблизительно вдвое коннектор SC. Феррула керамическая, диаметром 1,25 мм.

MPO (IEC 61754-7)

Коннектор MPO базируется на использовании пластиковой феррулы, которая позволяет разместить до 72 волокон в одном коннекторе. Коннектор MPO достаточно широко используется благодаря его компактному дизайну и лёгкости подключения, однако существуют некоторые ограничения по его применению из-за низкой надёжности и нестабильности оптических характеристик.



Коннектор типа MPO

FC (Fiber Connector, IEC 61753-13)

Коннекторы типа FC ориентированы, в основном, на применение в одномодовых линиях дальней связи, специализированных системах и сетях кабельного телевидения. Коннектор имеет феррулу диаметром 2,5 мм с выпуклой торцевой поверхностью диаметром 2 мм, причём феррула изготавливается со строгими допусками на геометрические параметры, что гарантирует низкий уровень потерь и минимум обратных отражений. Для фиксации коннектора FC в адаптере используется накидная гайка с резьбой M8x0,75. В конструкции используется подпружиненный наконечник, который не связан жёстко с корпусом и хвостовиком. Однако, из-за вращательного механизма фиксации, такой тип коннектора не получил большой популярности в системах с высокой плотностью размещения волокон.



Коннектор типа FC



Адаптер типа FC

E-2000™ (LSH, IEC 61753-15)

В коннекторах типа E-2000 реализована одна из наиболее сложных конструкций. Подключение и отключение коннектора производится линейно («вставить-нажать»). Фиксирующий механизм открывается только при вытягивании коннектора за корпус с применением специальной вставки-ключа. Случайное выключение такого коннектора без использования ключа практически невозможно.

Наконечник в коннекторах типа E-2000 выполнен в виде многослойной феррулы диаметром 2,5 мм. Корпус коннектора и адаптера изготавливается из прочного полимера.

Коннектор типа E-2000 имеет пластмассовые шторки, выполняющие функцию заглушек при отключении адаптера. Они также служат для предотвращения попадания пыли на плоскость оптического контакта. Этот тип коннекторов отличается улучшенными оптическими характеристиками, а также высокой надежностью.



Коннектор типа E-2000



Адаптер типа E-2000

MT-RJ (IEC 61751-18)

Коннекторы типа MT-RJ, в основном, используются в сетях LAN (в коммутаторах, концентраторах и маршрутизаторах) и имеют внешний вид, похожий на стандартные медножильные коннекторы типа RJ45. Технологически такие коннекторы сложны в производстве и изготавливаются исключительно в виде дуплексных.

LC (IEC 61754-20)

Разработчик коннекторов типа LC - американская компания Lucent (LC – Lucent Connector). Конструкция коннектора сравнительно проста: керамическая феррула диаметром 1,25 мм, не связанная с пластмассовым корпусом. Механизм фиксации - защелка (аналогично RJ-45). Пара коннекторов легко объединяется в дуплекс, который по своим размерам аналогичен коннектору SC, поэтому применение коннекторов и адаптеров типа LC в дуплексном исполнении вместо SC позволяет удвоить ёмкость стандартных оптических кроссов.



Коннектор типа LC дуплекс



Адаптер типа LC дуплекс

F-3000 (совместимый с IEC 61754-20)

Коннектор типа F-3000 имеет такую же конструкцию, что и коннектор типа LC, только с дополнительным элементом в виде защитной шторки.

F-SMA (IEC 61754-22)

F-SMA - резьбовой коннектор без физического контакта между феррулами.

LX.5 (IEC 61754-23)

Коннектор типа LX.5 по своим размерам и конструкции похож на коннекторы типов LC и F-3000, однако, в дуплексном исполнении имеет расстояние между двумя феррулами, отличающееся от расстояния в дуплексных коннекторах LC и F-3000.

SC-RJ (IEC 61754-24)

Как видно из маркировки, коннектор такого типа базируется на конструкции медножильного коннектора RJ45. Коннектор состоит из двух скреплённых коннекторов типа SC и имеет размер разъёма RJ45. Коннектор имеет две феррулы диаметром 2,5 мм.



Коннектор типа SC-RJ



Адаптер типа SC-RJ

9.3.2 Потери обратного отражения оптического сигнала

Потери обратного отражения или обратные потери характеризуются мощностью оптического сигнала, который отражается в обратном направлении к источнику излучения в точке физического контакта двух коннекторов (волокон). Потери обратного отражения оптического сигнала RL или обратные потери измеряются в дБ. Чем больше значение RL, тем меньше мощность обратного отражения сигнала. Типичные RL имеют значения от 35 до 50 дБ для физического контакта PC, от 60 до 90 дБ - для углового физического контакта APC, и от 20 до 40 дБ – для многомодовых волокон.

Для уменьшения воздушного зазора между двумя поверхностями феррул с волокном применяется полировка. В настоящее время различают 4 класса полировки: PC, UPC, SPC и APC.

Полировка PC (*Physical Contact – физический контакт*) изначально предусматривала только плоский вариант наконечника феррулы коннектора. Опыт эксплуатации показал, что абсолютно плоский торец коннектора не может исключить образование воздушных зазоров между торцами световодов. Поэтому торцы наконечников приобрели закругление. Для уменьшения вносимых потерь и обратного отражения коннектор может быть отполирован на специальной автоматической машине до SPC полировки (Super Physical Contact – суперфизический контакт) или UPC полировки (Ultra Physical Contact – ультрафизический контакт). Типы полировки PC, SPC и UPC совместимы между собой, поскольку отличаются только качеством полировки.

Для ещё большего увеличения потерь обратного отражения применяется полировка APC (*Angled Physical Contact – угловой физический контакт*). Торцевая феррула в таких коннекторах выполнена с наклоном под углом 8°. За счет этого угла практически весь отраженный сигнал покидает пределы световода. Коннекторы типа SC иногда выпускаются с полировкой торца феррулы под углом 9°. Такие коннекторы, как правило, маркируются зеленым цветом. Значения обратных потерь при APC полировке, согласно стандарту, не должно быть меньше 60 дБ. Такая полировка зачастую используется в сетях кабельного телевидения и высокоскоростных приложениях.

Физический контакт PC

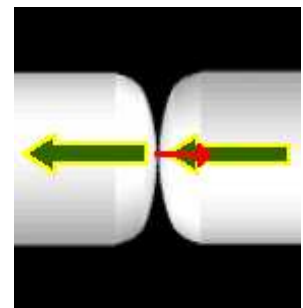


Физический контакт APC

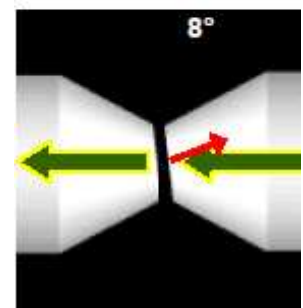


Обратные потери вследствие отражения сигнала

При соединении двух коннекторов в адаптере возникает неполный физический контакт двух феррул, в результате чего образуется воздушный зазор. При попадании сигнала на границу двух сред (волокно – воздух) часть его отражается в обратном направлении к источнику излучения (на рисунке – красная стрелка), что вызывает искажения передаваемого сигнала. Коннектор с качественной не угловой полировкой физического контакта имеет примерно 14,7 дБ обратных потерь в неподключенном состоянии и 45 - 50 дБ в подключенном.



Коннектор с качественной полировкой физического контакта под углом 8° или 9° (APC) показывает значительно лучшие значения затухания отраженного сигнала за счёт того, что весь отраженный сигнал направляется обратно под углом и покидает пределы световода.



Коннекторы APC имеют примерно 55 дБ обратных потерь в неподключенном состоянии и 60 - 90 дБ в подключенном.

Для сравнения, неоконечное волокно имеет обратные потери, вызванные его эксцентриситетом (некруглостью сердцевины), порядка 79,4 дБ на длине волны 1310 нм, 81,7 дБ на длине 1550 нм и 82,2 дБ на длине 1625 нм (значения приведены при длине импульса 1 нс).

9.3.3 Вносимые потери оптического сигнала

Потери в оптических разъёмных соединениях определяются целым рядом причин, которые в общем виде могут быть классифицированы следующими группами:

- внутренние факторы, которые определяются допусками на геометрические размеры оптического волокна;
- внешние факторы, которые определяются качеством изготовления отдельных элементов коннектора и его технологическими допусками;
- отражениями и рассеянием;
- загрязнениями.

К числу основных внутренних факторов, которые вызывают потери в оптических разъёмных соединениях, относятся эксцентриситет и некруглость (эллиптичность) сердцевины, а также разность диаметров, числовых апертур и профилей показателей преломления соединяемых световодов.

В перечень составляющих потерь, которые вызываются внешними факторами, входят потери за счет наличия воздушного зазора между торцами соединяемых волокон, радиальных и угловых смещений световодов, а также непараллельности торцевых поверхностей коннекторов в разъёмных соединениях.

Качество разъёмного соединения определяется двумя оптическими характеристиками: вносимым затуханием IL и затуханием обратного отражения RL. Чем меньше значение IL и больше значение RL, тем лучше качество разъёмного соединения.

Вносимое оптическое затухание определяется отношением суммарной мощности оптического излучения на входе приёмника к суммарной мощности оптического излучения на выходе передатчика, выраженное в децибелах. Соответственно, при измерении вносимого затухания, определяют разность уровней мощности до и после соединения: $авн = P_{вх} - P_{вых}$. Чем меньше это значение, тем меньше потеря мощности сигнала. Вносимое затухание в разъёмном соединении имеет типичные значения в пределах от 0,1 до 0,5 дБ.

В некоторых случаях вносимое затухание обозначают как -дБ или +дБ, например, -0,1 дБ или +0,1 дБ. В обоих случаях физическое значение вносимого затухания идентично.

9.3.4 Оптические потери, вызванные эксцентриситетом (смещением волокна)

Уменьшение оптических потерь в разъёмном соединении достигается более точным (прецизионным) размещением волокон в феррулах коннекторов. Для этого, в процессе производства, волокно, помещённое в ферруле, заливается специальным клеем, который центрирует размещение волокна.

Диаметр отверстия в ферруле должно быть больше, чем диаметр вводимого волокна. В результате волокно размещается с определённым смещением от центра феррулы.

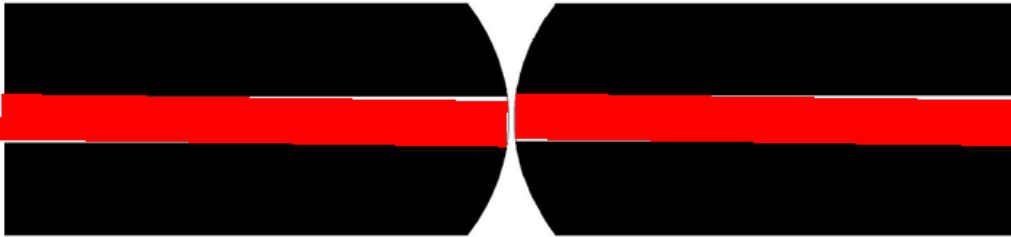
Такое смещение волокна относительно центра феррулы определяется двумя параметрами:



Угол смещения или угловая ошибка должна быть меньше $0,3^{\circ}$

Концентричность или отклонение от центра феррулы может быть от 1,0 до 1,6 мкм согласно требованиям стандарта IEC 61755-3-1.

При соединении феррул двух коннекторов, имеющих плохие показатели по углу смещения и концентричности, происходит значительное увеличение вносимых потерь оптического сигнала.



Чтобы получить минимальные потери при соединении двух коннекторов радиальная расцентровка волокон должна быть как можно меньше. Это достигается при производстве коннекторов путём задания определённого положения волокна в ферруле (позиционированные коннекторы).

Оптические коннекторы должны обеспечивать работоспособность и сохранение своих заданных оптических характеристик на протяжении всего срока эксплуатации (от 200 000 до 250 000 часов или 25 лет). Коннекторы должны обеспечивать многократное включение/выключение (не менее 500 циклов).

9.4 Сращивание оптических волокон

Существует две технологии сращивания волокон: сварная и механическая.

9.4.1 Сварная технология сращивания волокон

В сварной технологии используется метод расплавления концов волокон под действием электрической дуги, вырабатываемой двумя электродами. Два сколотых волокна помещаются в специальные канавки сварочного устройства друг напротив друга, выравниваются по осям, затем стыкуются и расплавляются под действием электрической дуги, образуя соединение.

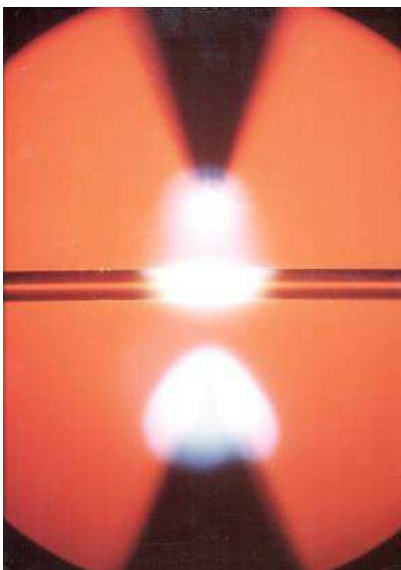


Рисунок 95: Расплавление волокон под действием электрической дуги

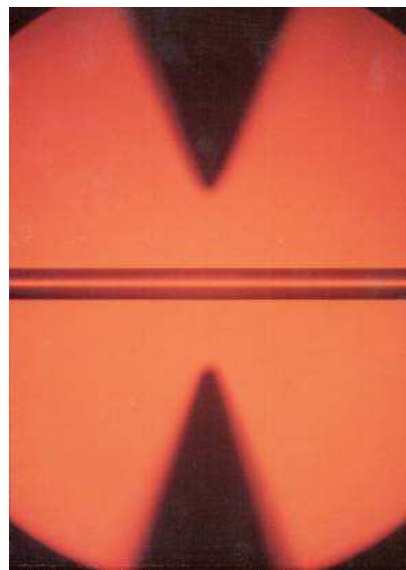


Рисунок 96: Готовое соединение волокон

Оптические потери на сварном соединении волокон могут быть различными в зависимости от механизма выравнивания волокон. Современные сварочные устройства высокого класса выравнивают волокна по сердцевине (9 мкм) путём введения светового луча в каждое из свариваемых волокон, при этом обеспечиваются минимальные потери на стыке, не превышающие 0,05 дБ.



Рисунок 97: Примеры оптических сварочных устройств

Сварочные устройства более низкого класса (к примеру, компактные сварочные аппараты) имеют механизм выравнивания волокон по оболочке (125 мкм). При этом, типичные потери на стыке могут достигать до 0,1 дБ.

9.4.2 Механическое соединение волокон

Механическое соединение волокон базируется на механическом способе закрепления, выравнивания и стыковки двух сколотых оптических волокон. В месте стыка волокон должен находиться специальный гель, согласующий показатель преломления. Существуют различные устройства для механического соединения волокон. Скол волокон при механическом соединении может быть угловым или не угловым. Типичное затухание в месте стыка волокон не больше 0,5 дБ.

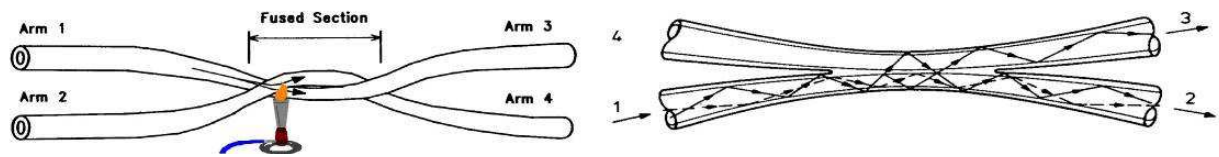


Рисунок 98: Примеры устройств для механического соединения волокон

9.5 Оптические разветвители (сплиттеры)

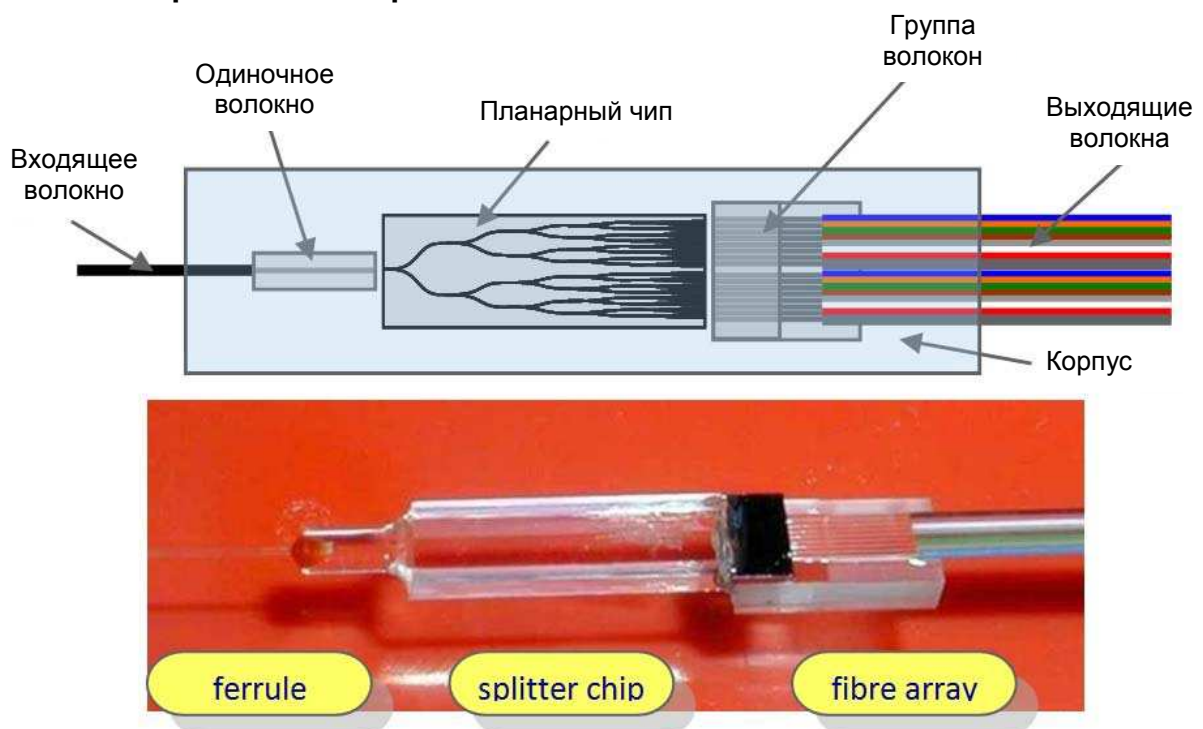
Существует две технологии производства оптических сплиттеров: сплавная биконическая ленточная и планарная волноводная.

9.5.1 Сплавные биконические сплиттеры



- Изготавливаются путём сваривания вместе двух скрученных волокон
- Легкий производственный процесс
- Не чувствительны к изменениям влажности и температуры окружающего воздуха
- Конструкция в виде цельного корпуса с коэффициентом деления до 1x4
- Для получения большего коэффициента деления необходимо использовать каскадное соединение нескольких сплиттеров 1x2, 1x3 или 1x4
- Большой диапазон значений деления мощности сигнала, передаваемого по волокнам (с шагом 5 %).

9.5.2 Планарные сплиттеры



- Изготавливаются по технологии планарных световодов, располагающихся на кристалле (чипе)
- Коэффициент деления от 1x4 до 1x32 и выше, также возможен вход двух волокон
- Только симметричное разделение оптического сигнала
- Улучшенные оптические характеристики (затухание, однородность в широком диапазоне длин волн) по сравнению со сплиттерами биконического типа.

9.6 Градации качества оптических коннекторов

В стандарте IEC 61753, утверждённом в марте 2007 года, приведены градации качества (см. таблицу ниже) для всех коммутационных элементов (коннекторов, патчкордов, пигтейлов), используемых на волоконно-оптических сетях связи.

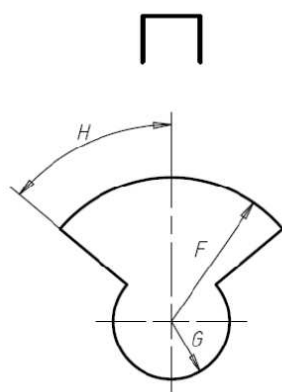
Градация по вносимому затуханию	Значение затухания, метод IEC 61300-3-34	
Класс А*	≤ 0,07 дБ (усреднённое)	≤ 0,15 дБ (макс. для > 97% образцов)
Класс В	≤ 0,12 дБ (усреднённое)	≤ 0,25 дБ (макс. для > 97% образцов)
Класс С	≤ 0,25 дБ (усреднённое)	≤ 0,50 дБ (макс. для > 97% образцов)
Класс D	≤ 0,50 дБ (усреднённое)	≤ 1,00 дБ (макс. для > 97% образцов)
Градация по затуханию обратного отражения	Значение затухания, метод IEC 61300-3-34	
Класс 1	≥ 55 - 60 дБ	
Класс 2	≥ 45 дБ	
Класс 3	≥ 35 дБ	
Класс 4	≥ 26 дБ	

**Примечание – Рекомендации для Класса А ещё точно не определены. Критерии для многомодовых волокон находятся на стадии обсуждения.*

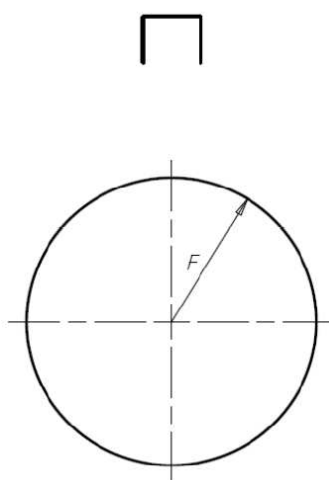
Теоретически градации по вносимому затуханию и обратному отражению могут быть объединены, однако нет смысла производить изделие Класса А по вносимому затуханию с затуханием обратного отражения Класса 4. В таблице ниже приведены возможные комбинации классов по вносимому затуханию и обратному отражению.

	Класс А*	Класс В	Класс С	Класс D
Класс 1	+	+	+	-
Класс 2	+	+	+	+
Класс 3	-	-	-	+
Класс 4	-	-	-	+

Параметр вносимого затухания определяется как среднее значение затухания большого количества образцов («каждый с каждым»), включённых в общую цепь. Кроме того, для каждого класса коннекторов определены геометрические параметры феррулы H, F и G:



Классы В и С



Класс D

Требования к геометрическим параметрам волоконно-оптических коннекторов согласно рекомендаций IEC 61755-3-1 и IEC 61755-3-2:

IEC 61755-3-1 (коннектор с физическим контактом PC, диаметр феррулы 2,5 мм)							
	Класс B		Класс C		Класс D		
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Примечание
H:	0	50	0	50	0	0	Градусы
F:	0	0,0012	0	0,0015	0	0,0016	Радиус, мм
G:	0	0,0003	0	0,0003	0	0	Радиус, мм
IEC 61755-3-2 (коннектор с физическим контактом APC, диаметр феррулы 2,5 мм)							
	Класс B		Класс C		Класс D		
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Примечание
H:	0	50	0	50	Не опред.	Не опред.	Градусы
F:	0	0,0010	0	0,0014	0	0,0015	Радиус, мм
G:	0	0,0003	0	0,0003	Не опред.	Не опред.	Радиус, мм

10 Рекомендации по строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию

10.1 Планирование и организация строительства

10.1.1 Процесс подготовки к строительству

Учитывая недостаточный уровень проработанности нормативной базы, регламентирующей вопросы проектирования, строительства и эксплуатации сетей FTTH на базе новых технологий, необходимо максимально использовать опыт строительства классических волоконно-оптических сетей.

Строительство сетей FTTH требует тщательного планирования с учётом особенностей существующих трасс кабельной канализации или воздушных линий связи, необходимости проведения специфичных аварийно-восстановительных и профилактических работ, разработки особой методики измерений, ведения паспортизации и технического учёта.

В процессе подготовки к строительству, как правило, должны быть выполнены следующие мероприятия:

- рассмотрение проектной документации;
- изучение схемы трассы и условий проведения работ в реальных условиях;
- составление проекта плана проведения работ и графики их выполнения;
- определение необходимости в использовании рабочей силы;
- определение необходимости в использовании машин, механизмов и автотранспорта;
- решение организационных вопросов по взаимодействию подрядчика с представителями заказчика.

Одним из основных документов строительства конкретного участка сети является проект плана проведения работ, который составляется производственным отделом строительной организации (акционерного общества, фирмы и т.п.). Проект плана должен составляться на основе детального изучения проектной документации, обследования на местности трассы прокладки ВОЛС и утверждения с заказчиком объёма строительного-монтажных работ.

10.1.2 Общие рекомендации по технике безопасности при проведении строительных работ

При проведении работ по прокладке строительная организация, которая выполняет такие работы, должна оборудовать соответствующие ограждения и световую сигнализацию в месте проведения работ. При необходимости, следует составить и согласовать с органами Госавтоинспекции схему организации транспортного движения в месте выполнения работ.

Перед спусканием рабочих в колодец кабельной канализации необходимо:

- проверить колодец на наличие вредных и взрывоопасных газов, и при необходимости провентилировать;
- при наличии воды провести её откачивание и просушку колодца.

Во время проведения работ в колодцах кабельной канализации необходимо постоянно контролировать состояние воздуха на наличие вредных и взрывоопасных газов.

10.1.3 Общее описание требований к линейно-кабельной инфраструктуре

Перед проведением работ по прокладке кабелей и установки соединительных муфт необходимо провести полное обследование трассы прокладки кабельной канализации.

Колодцы кабельной канализации должны быть обследованы на отсутствие воды и на наличие свободного места для выкладки эксплуатационного запаса оптического кабеля, размещения соединительных муфт и, при необходимости, оборудования для пневмопрокладки кабелей.

Каналы кабельной канализации должны быть проверены на отсутствие повреждений и загрязнений. Это выполняется путём протягивания через канал канализации тяжёлого цилиндра, диаметр которого приблизительно равен диаметру прокладываемой защитной трубки или кабеля.

Защитная трубка, как правило, изготавливается из полиэтилена высокого давления, и может иметь ребристую внутреннюю поверхность для уменьшения коэффициента трения кабеля при прокладке. Дополнительно, возможно использование специальных смазывающих материалов. При разматывании трубки с барабана при прокладке в канал кабельной канализации необходимо установить барабан таким образом, чтобы трубка разматывалась не с нижней, а с верхней части барабана. При прокладке трубок возможно использование петлевых или шарнирных фиксаторов, которые вкручиваются в трубку. Применение таких фиксаторов позволяет избежать скручивание трубки внутри канала кабельной канализации во время прокладки. При прокладке трубки через несколько колодцев кабельной канализации с поворотами и изгибами рекомендуется использовать соответствующие роликовые направляющие устройства. При прокладке трубок необходимо обеспечить отсутствие их провисания по всей длине трассы прокладки. Для этого в колодцах кабельной канализации трубку следует фиксировать в горизонтальном положении на металлоконструкциях, расположенных на стенах колодцев. Запрещается оставлять трубку непосредственно под крышкой колодца.

Перед прокладкой оптического кабеля необходимо установить направляющие элементы на входе и выходе канала кабельной канализации или полиэтиленовой трубки, а также поворотные блоки на угловых колодцах. Оптический кабель следует крепить к тяговому элементу с помощью наконечника для затягивания кабеля через компенсатор кручения, который исключает передачу усилий кручения на кабель при прокладке.

Тяговые лебёдки, использующиеся при прокладке кабелей, должны быть оборудованы динамометрами для контроля тягового усилия, прикладываемого к кабелю.

При проведении строительно-монтажных работ необходимо обеспечить служебную связь, которая может быть организована с помощью оптических телефонов по волокну, радиотелефонов, мобильных телефонов или других устройств связи.

При строительстве воздушных ВОЛС необходимо подготовить и установить специальные консоли и направляющие роликовые блоки для подвешивания оптического кабеля. При проведении работ на высоте необходимо руководствоваться соответствующими инструкциями по правилам безопасности.

10.1.4 Общее описание требований по прокладке кабелей

Прокладка кабелей в каналах и микроканалах кабельной канализации

Прокладка оптических кабелей в каналах кабельной канализации является относительно несложным технологическим процессом. Кабели прокладываются, как правило, методом затягивания вручную или механизированным способом с использованием специальной техники. Расчёт необходимой длины кабеля проводится исходя из длины трассы прокладки с учётом технологического запаса (3 - 5 м) в местах установки соединительных муфт. Кроме того, в случае повреждения кабеля, необходимо иметь так называемый аварийный запас для проведения ремонтных работ.

При прокладке через транзитные колодцы кабельной канализации оптический кабель выкладывается по форме колодца вдоль стены на консоли соответствующего ряда. При этом кабель не должен перекрещиваться с другими кабелями, которые проложены в том же горизонтальном ряду, а также закрывать отверстия каналов, которые располагаются с кабелем в одной горизонтальной плоскости. Спуски (подъёмы) кабеля между кронштейнами на боковой стенке колодца, как правило, не допускаются.

Технологический запас кабеля, который остался после монтажа муфты, скручивается кольцами по радиусу изгиба, допустимому для данного типа кабеля (но не меньше значения $20 \times$ диаметр кабеля), и подвешивается на консолях. После этого небольшой отрезок длины оптического кабеля (приблизительно 200 мм) окрашивается краской жёлтого цвета и устанавливаются нумерационные кольца.

Минимальный радиус изгиба оптического кабеля определяется сохранением стабильных оптических и механических характеристик при воздействии статических или динамических нагрузок. Статические нагрузки воздействуют на кабель во время проведения работ по оконечиванию, в том числе при выкладке эксплуатационного запаса в колодце кабельной канализации. Динамические нагрузки воздействуют на кабель во время проведения работ по прокладке. При этом динамическая нагрузка (или сила натяжения) воздействует на кабель в течении короткого промежутка времени (при прокладке кабеля), а также в течении всего срока эксплуатации.

Кабели прокладываемые непосредственно в грунт

Прокладка кабелей непосредственно в грунт может осуществляться различными способами, описанными в рекомендации IEC 60794-1-1, раздел C.3.6. Основные из этих способов приведены ниже:

- способ укладки в заранее подготовленную траншею без дополнительной защиты или в полиэтиленовой трубке;
- безтраншейный способ с помощью специализированной кабелеукладочной техники;
- метод прокладки в защитную трубку, проложенную закрытым методом горизонтального бурения (при пересечении железных и автомобильных дорог).

В процессе прокладки механические нагрузки на оптический кабель не должны превышать допустимых норм, а радиус изгиба должен быть не меньше допустимых значений, указанных в технических условиях на данный тип кабеля. В процессе прокладки оптического кабеля необходимо принять меры, которые исключали бы возможность нарушения его механических и оптических характеристик.

При прокладке кабеля на пересечении с линейными подземными сооружениями (трубопроводы, кабели) должны быть приняты меры, которые бы исключали возможность повреждения таких сооружений.

Трасса прокладки оптических кабелей и размещение муфт должны обозначаться на местности, как правило, с помощью замерных столбиков или специальных маркеров. Кроме того, трассу прокладки оптического кабеля без металлических элементов можно обозначать с помощью предупредительно-сигнальной ленты, прокладываемой в грунт над оптическим кабелем. Функциональное назначение такой ленты – предупреждать исполнителя земляных работ о наличии линейного сооружения в месте раскопок, дистанционная сигнализация о проведении несанкционированных работ в охранной зоне ВОЛС, а также обеспечение поиска трассы прокладки оптического кабеля в процессе эксплуатации линии связи.

Кабели воздушных волоконно-оптических линий связи

Методы подвеса оптических кабелей приведены в рекомендации IEC 60794-1-1, раздел С.3.5.

Кабели воздушных ВОЛС имеют конструкцию, которая отличается от конструкции кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт или каналах кабельной канализации. Конструкция кабелей воздушных ВОЛС может быть разработана специально для использования в определённых климатических условиях (повышенные ветровые нагрузки, обмерзание, постоянное воздействие высоких температур окружающего воздуха и т.п.).

Один из важнейших параметров при проектировании и строительстве воздушных линий связи – это длина пролёта между опорами, значение которой влияет на стрелу провеса кабеля и соответственно на усилие натяжения.

Как и для кабелей, прокладываемых непосредственно в грунт, при строительстве воздушных ВОЛС, необходимо обеспечить эксплуатационный запас кабеля в месте расположения соединительных муфт. Такой запас кабеля может размещаться непосредственно на опоре или в грунте в специально оборудованном котловане.

11 Проведение измерений оптических параметров сети FTTH

11.1 Контроль коннекторов

11.1.1 Почему важно чистить коннекторы?

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

- Передающее устройство – мощность передачи сигнала
- Соединение оптических волокон – качество коннекторов и сращков волокон
- Кабель – затухание оптических волокон
- Приёмное устройство – чувствительность

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

ЗАГРЯЗНЕНИЕ КОННЕКТОРА ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВОЙ ПРИЧИНОЙ ОТКАЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВСЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Многочисленные исследования, проведенные ведущими мировыми производителями оборудования, показывают, что более 75 % всех отказов оптических сетей связано с состоянием оптических соединений. И только оставшиеся 25 % обусловлены отказами оборудования, разрушением кабельной системы и прочими факторами. Этот удивительный факт объясняет возникновение неожиданных проблем, совершенно не предусмотренных при проектировании сети. Для понимания серьезности этого фактора понадобились годы эксплуатации и статистический анализ причин отказов сети.

Одним из источников проблем в разъёмных соединениях является геометрия торца феррулы коннектора. Этот параметр контролируется при производстве коннекторов и, как правило, является стабильным на протяжении всего срока службы сети. Хотя в некоторых случаях контроль геометрии торца коннектора проводят при профилактических работах, однако при этом необходимо иметь достаточно дорогое оборудование.

Другим источником проблем в разъёмных соединениях является загрязнение поверхностей феррул в месте стыковки коннекторов. Как известно, взвешенные частички пыли присутствуют везде. Мелкие частички пыли имеют размер от 2 до 5 мкм и могут распространяться по всей поверхности коннектора, образуя пятна и прочно закрепляясь на торце феррулы. При попадании в зону физического контакта волокон они рассеивают свет и значительно увеличивают уровень обратного отражения. Также возрастает затухание.

Частицы более крупного размера (до 15 мкм), попавшие в зону контакта волокон, могут образовывать области, не прозрачные для света вообще, что приводит к значительному увеличению затухания. При этом такие частицы отражают сигнал обратно в передатчик, что может привести к снижению качества сигнала и прерыванию связи.

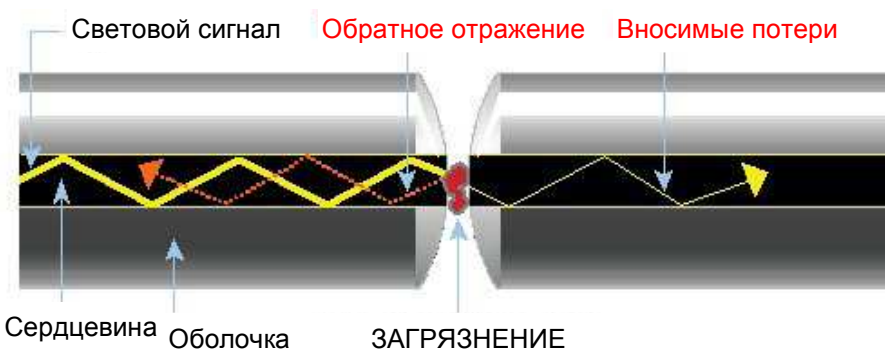


Рисунок 99: Увеличение вносимого затухания и обратного отражения, вызванного загрязнением поверхностей феррул в месте стыковки коннекторов

Частичка пыли, размером 1 мкм, попавшая на сердцевину одномодового оптического волокна, может привести к потерям 1 % сигнала (затухание 0,05 дБ), однако частичка более большого размера (9 мкм) может привести уже к полному отказу работоспособности системы. В современных системах передачи мощность сигнала, передаваемого по одномодовому волокну, может достигать 1 Вт (+30 дБ) и более. То есть плотность световой мощности, проходящей через сечение волокна, может достигать значений порядка 200 кВт/см². Столь мощный световой поток может привести к катастрофическим последствиям и, даже частично поглотившись загрязнениями поверхности коннекторов, может вызывать их нагрев и физико-химические изменения.

Существуют несколько зон торца коннектора, идеальная чистота которых наиболее важна.

- A: Зона сердцевинки
- B: Зона оболочки
- C: Зона подклеивающего слоя
- D: Зона контакта/феррулы

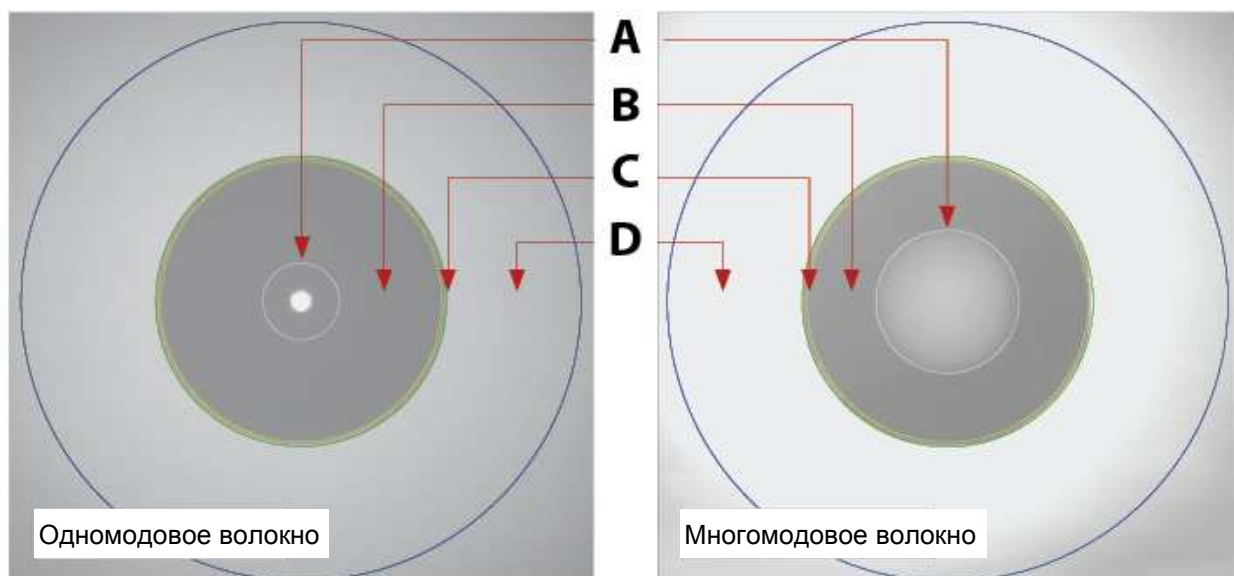


Рисунок 100: Зоны визуального контроля торца коннектора

Попадание на торец коннектора пыли, жира от пальцев рук, минеральных жиров, эпоксидных смол, имерсионных жидкостей и т.п. может привести к загрязнению и, как следствие, к ухудшению оптических характеристик разъёмного соединения. На рисунке 101 показаны торцы коннекторов, имеющих различные типы загрязнения.

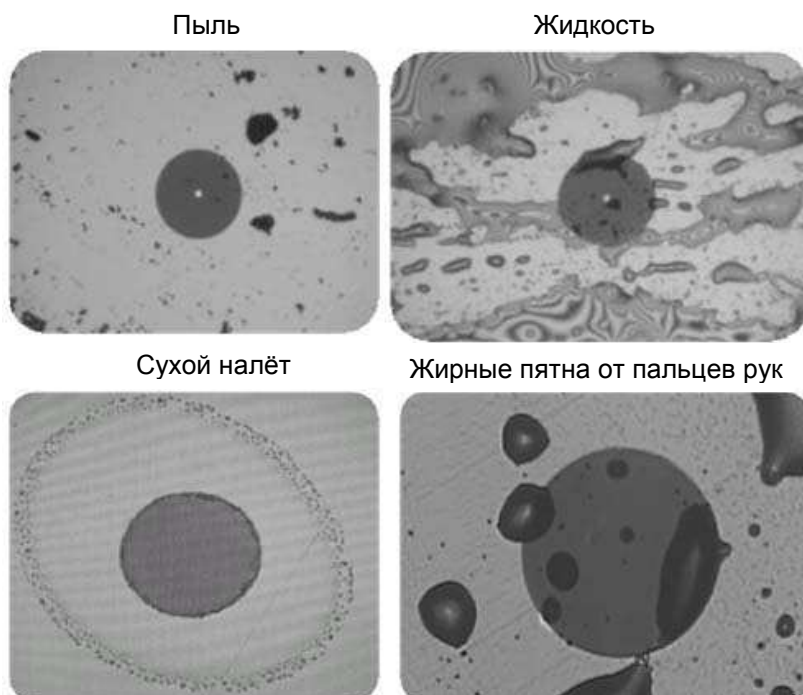


Рисунок 101: Различные типы загрязнения торцов оптических коннекторов

11.1.2 Какие оптические компоненты следует проверять и очищать?

Приведенные ниже компоненты необходимо постоянно проверять и очищать:

- Все коммутационные панели с установленными адаптерами, к которым коннекторы подключаются с одной или двух сторон
- Патчкорды для проведения измерений
- Все коннекторы, установленные на соединительных шнурах (патчкордах и пигтейлах).

11.1.3 Когда следует проверять и очищать коннектор?

Все коннекторы следует проверять и очищать:

- До выполнения любых действий по коммутации, в том числе при перекоммутации
- До проведения измерительных работ.

11.1.4 Каким образом следует проверять коннекторы?

Для контроля загрязнений коннекторов используют специализированные оптические микроскопы и видеомикроскопы. Предлагаемые на рынке оптические микроскопы имеют, как правило, увеличение от 100 до 400 крат, в том числе имеются варианты с регулируемым увеличением. Как правило, меньшее увеличение соответствует большему размеру поля зрения микроскопа. Для того, чтобы надежно контролировать состояние поверхности, лучше пользоваться микроскопом с увеличением не менее 200 крат.

В последние годы все большее распространение получают видеомикроскопы, в которых увеличенное изображение торца коннектора проецируется на чувствительный элемент видеокамеры и отображается на мониторе. Такие микроскопы позволяют выводить изображение на достаточно большой монитор.

Это, конечно, удобнее и требует меньшего напряжения глаз измерителя, чем в случае оптических микроскопов, когда наблюдать торец коннектора можно, только приложившись глазом к объективу прибора. Пожалуй, единственным минусом видеомикроскопов является их относительно высокая цена.

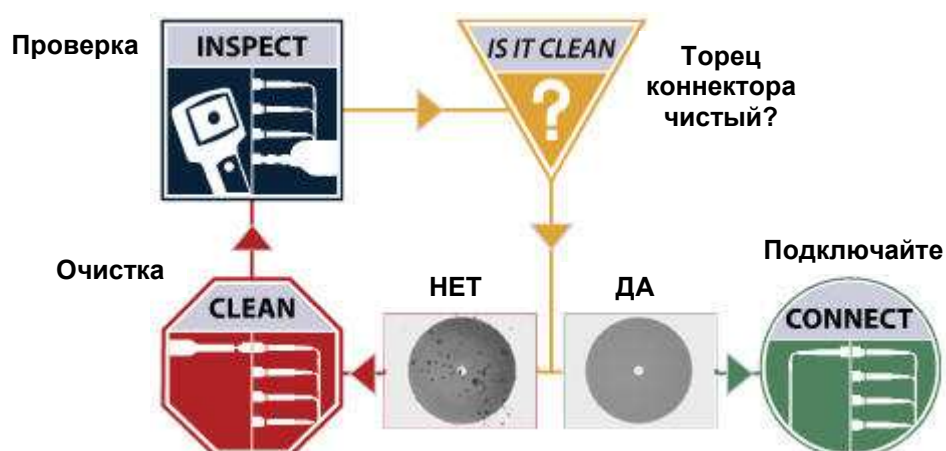
В таблице ниже приведены основные характеристики двух типов приборов – оптических микроскопов и видеомикроскопов:

Тип устройства	Основные характеристики
Видеомикроскоп	Изображение выводится на внешний видеомонитор или на экран компьютера. Защита глаза от попадания лазерного излучения в случае проверки коннектора с работающим волокном. Полученное изображение может быть сохранено и использоваться для отчёта. Возможность контроля торцов коннекторов, подключённых с внутренней стороны коммутационной панели, что очень удобно при проверке оптических кроссов высокой ёмкости. Различные параметры увеличения изображения (100X/200X/400X). Наличие различных видов насадок позволяет тестировать любые типы оптических коннекторов, в том числе с угловой полировкой APC и многоволоконные коннекторы (MPO/MTP).
Оптический микроскоп	Наличие встроенного фильтра* для защиты глаза от случайного попадания лазерного излучения. Необходимо иметь два типа микроскопа: один – для тестирования коннекторов неподключенных оптических шнуров; другой – для тестирования коннекторов, подключенных с внутренней стороны коммутационной панели через адаптер.

*** Примечание:** Никогда не используйте оптический микроскоп для визуального контроля оптического сигнала.

11.1.5 Алгоритм проведения визуального контроля

Ниже представлен алгоритм работы видеомикроскопа при проведении визуального контроля поверхности торца коннектора:



Проверка	Выберите соответствующий вид переходной вставки для данного типа коннектора. Проведите проверку торца неподключённого коннектора и/или подключённого к адаптеру, используя микроскоп.
Торец коннектора чистый?	
Чистка	НЕТ. Во время проверки было обнаружено загрязнение торца коннектора; необходимо очистить коннектор, используя соответствующие инструменты и материалы.
Подключение	ДА. Коннектор может быть подключён.

11.1.6 Инструменты и материалы для очистки коннекторов

Существует два метода контроля поверхности торца коннектора. Если оптический шнур не подключён, установите коннектор в микроскоп и проведите визуальный контроль. Если коннектор подключён к адаптеру, расположенному на коммутационной панели, соедините микроскоп со свободной стороной адаптера и проведите визуальный контроль поверхности торца коннектора внутри адаптера.

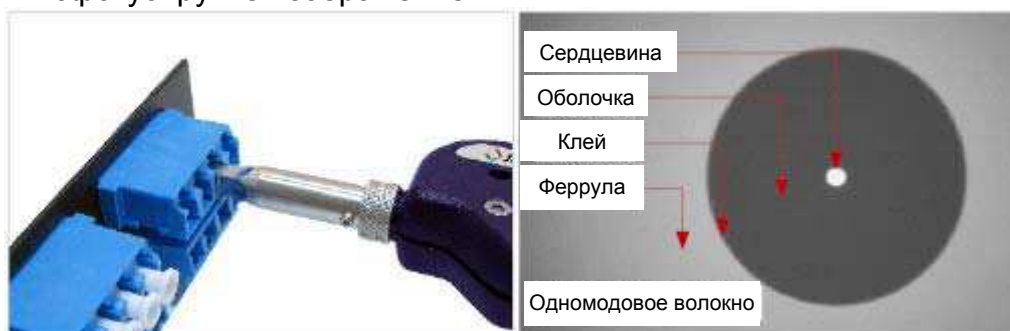
Контроль неподключённых коннекторов

- Выберите соответствующий вид переходной вставки для данного типа тестируемого коннектора и установите её на микроскоп.
- Подключите коннектор к переходной вставке и сфокусируйте изображение.



Контроль подключённых коннекторов через адаптер

- Выберите соответствующий вид переходной вставки для данного типа тестируемого коннектора и установите её на микроскоп.
- Подключите микроскоп со вставкой к адаптеру на коммутационной панели и сфокусируйте изображение.



11.1.7 Материалы для очистки коннекторов

Сухая очистка

Наиболее распространённым и простым методом очистки является применение сухих безворсовых салфеток, а также разного рода ленточных очистителей, в которых лента из рулона безворсового материала протягивается через «окошко», где торец коннектора можно вытереть о материал ленты и удалить с поверхности коннектора имеющееся там загрязнение. Аналогичный способ очистки используется в планшетных очистителях, в которых торец коннектора протирают о лист безворсового материала, разделенного «окошками» на участки, каждый из которых предназначен для очистки одного коннектора.

Материалы для очистки до их использования должны быть защищены от попадания грязи. При очистке безворсовая салфетка держится рукой снизу, при этом следует избегать контакта пальцев руки с лицевой (верхней) частью салфетки.



Рисунок 102: Примеры устройств для сухой очистки коннекторов



Рисунок 103: Пример влажной очистки коннекторов с помощью безворсовой салфетки и очищающей жидкости

Влажная очистка

Для влажной очистки коннекторов применяются, как правило, специальные жидкости, которые наносятся на сухие безворсовые салфетки с помощью дозаторов. Кроме того, существуют уже пропитанные жидкостью салфетки, упакованные в герметичную оболочку.

Инструменты для очистки коннекторов, подключённых к адаптерам

Не всегда есть возможность отключить коннектор для очистки, который расположен на внутренней части коммутационной панели. Для очистки коннекторов, находящихся внутри оптического адаптера, применяют специальные палочки с тампоном на конце или более сложные устройства, имеющие так называемое «жало», которое вводится в розетку и, поворачиваясь, очищает торец безворсовой нитью, смоченной в очистительном растворе.



Рисунок 104: Примеры устройств для очистки коннекторов через адаптер

Рекомендации по работе с оптическими коммутационными устройствами:

- Неиспользуемые адаптеры, расположенные на коммутационной панели, должны быть всегда закрыты заглушками во избежание попадания во внутрь адаптера пыли.
- Если необходимо провести измерение, заглушенный адаптер следует открыть, а по окончании измерений немедленно закрыть заглушкой.
- Снятые заглушки следует хранить в закрытом пластиковом пакете.
- Количество подключений/отключений оптических коннекторов ограничено и составляет, как правило, до 500 раз.
- Перед каждым подключением оптического шнура следует удалить защитный колпачок и очистить торец коннектора. После завершения измерений следует снова закрыть коннектор защитным колпачком.
- Оптические шнуры, используемые для проведения измерений, необходимо менять после 500 раз выполненных подключений (согласно стандарта EIA-455-21A).
- Оптические коннекторы тестовых шнуров и оборудования следует очищать и проверять с помощью микроскопа (или видеомикроскопа) каждый раз перед использованием.

11.2 Проведение измерений оптических параметров сетей FTTH на этапе строительства

Для последующей бесперебойной работы всех элементов пассивной оптической сети с требуемым уровнем обслуживания, необходимо проводить измерения основных оптических характеристик на этапе её строительства. Проведение таких измерений поможет оптимизировать дорогостоящие и трудоёмкие затраты и минимизировать время по поиску и устранению неисправностей (некачественное сращивание волокон, загрязнённые или некачественные коннекторы, недопустимые радиусы изгибов волокон, и т.п.) ещё до того, как они приведут к перерыву связи.

Существует различные методы тестирования, некоторые из которых описываются в данном разделе руководства.

11.2.1 Метод 1: Использование оптических тестеров для измерения затухания линии

Первый метод основан на использовании набора оптических тестеров, позволяющих измерить значение вносимых потерь (IL) и значение потерь обратного отражения (RL). Перед началом проведения измерений оптические тестера (передатчик и приёмник) должны быть откалиброваны.



Рисунок 105: Калибровка оптических тестеров

При измерении затухания обратного отражения также необходимо провести калибровочные или опорные измерения с использованием эталонного оптического шнура.

Волоконно-оптическое измерительное оборудование, используемое для работы в сетях FTTH, должно иметь возможность проводить измерения на трёх длинах волн: 1310 нм, 1490 нм и 1550 нм.



Рисунок 106: Измерение вносимых потерь (IL) и затухания обратного отражения (ORL) с использованием двух тестеров

Пример таблицы записи результатов тестирования (А – абонент, АТС – сетевой узел):

№ ОВ	Длина волны (нм)	Затухание IL (А→АТС)	Затухание IL (АТС→А)	Среднее значение	Затухание RL (А→АТС)	Затухание RL (АТС→А)
001	1310					
	1490					
	1550					
002	1310					
	1490					
	1550					

В таблице ниже показано ожидаемое значение затухания обратного отражения для сети:

Длина участка (м)	1310 нм (дБ)	1490 нм (дБ)	1550 нм (дБ)
50	53	56	57
300	46	50	50
500	44	47	48
1000	41	45	46

Приведенные в таблице значения подходят только для двух точек соединения волокон. Сети FTTH обычно имеют большое количество точек соединения волокон и значение обратного отражения в основном зависит от качества самих коннекторов, а не от длины линии. Поэтому значение затухания обратного отражения всей линии может быть значительно ухудшено одним некачественным соединением.

Преимущества Метода 1	Недостатки Метода 1
Точное измерение значений IL и ORL	Необходимо присутствие двух технических специалистов
Двунаправленное измерение IL и ORL	Необходимо иметь постоянную связь между двумя техническими специалистами
Возможность тестирования каждого волокна	При структуре сети «точка-много точек» специалист должен постоянно переходить от одного терминала к другому
Идентификация макроизгибов во время тестирования выполняется на длинах волн 1550 и 1310 нм или других комбинаций длин волн, включая 1625 нм.	В случае повреждения волокна и макроизгиба волокна нет возможности определить точное место повреждения.
Быстрота проведения измерений	

11.2.2 Метод 2: Использование оптического рефлектометра (OTDR)

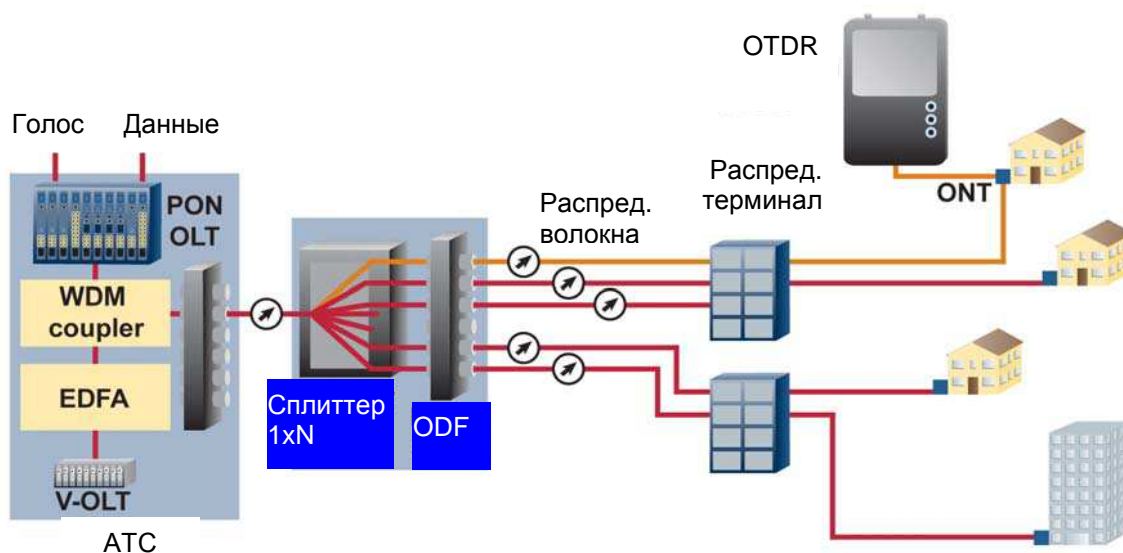


Рисунок 107: Измерения с помощью рефлектометра

Как видно из рисунка, рефлектометрические измерения проводятся со стороны абонентского устройства ONT. Работа OTDR основана на отправке мощного импульса излучения в волокно и измерении отраженного сигнала. Каждое событие в линии (например, сварное, разъемное соединение или какие-либо дефекты оптического волокна) является причиной отражений и/или потерь мощности сигнала. Для расчета расстояния до каждого события оптический рефлектометр использует время поступления отраженного сигнала. С помощью рефлектометра можно определить значения затухания точек сращивания волокон, вносимые потери и обратное отражение на разъёмных соединениях, а также общее значение затухания обратного отражения всей сети.

Однако тестирование пассивных оптических сетей с большим количеством ответвлений с помощью стандартных рефлектометров практически невозможно. В сетях PON мы фактически имеем архитектуру «точка-много точек», и каждый элемент такой сети будет отражаться на рефлектограмме.

Пространственная локализация этих элементов может оказаться сильно затрудненной. Еще более сложной в анализе окажется рефлектограмма, если на сети присутствуют несколько сплиттеров, расположенных последовательно на разных расстояниях. В этом случае помочь может либо последовательный анализ кабельной инфраструктуры при отключении участков (однако, это возможно только при строительстве сети), либо специальное программное обеспечение с возможностью детального анализа рефлектограммы.

Вторая проблема проявляется при обслуживании или развитии сети. В этом случае при необходимости подключения новых абонентских терминалов ONT к уже действующей сети или при ремонте какого-либо оптического ответвления «древовидной» PON-структуры появляется сложность ее тестирования, связанная с наличием в сети действующего оптического сигнала, несущего трафик работающим абонентам. Очень часто при этом невозможно остановить предоставление сервиса, что может привести к большим материальным издержкам компании-оператора. В такой ситуации может помочь только внеполосное тестирование оптических кабелей с помощью рефлектометра, работающего на длине волны 1625 нм.

Исходя из вышеприведенных проблем, для тестирования наилучшим решением будет использование рефлектометров, оптимизированных специально для применения на сетях PON.

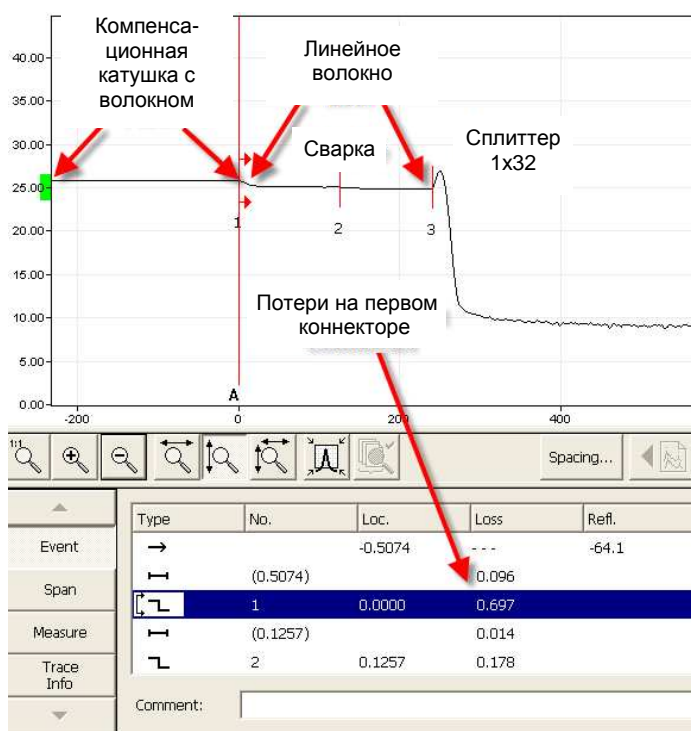


Рисунок 108: Пример рефлектограммы (направление от ONT к первому сплиттеру) рефлектометра, не оптимизированного для сетей PON

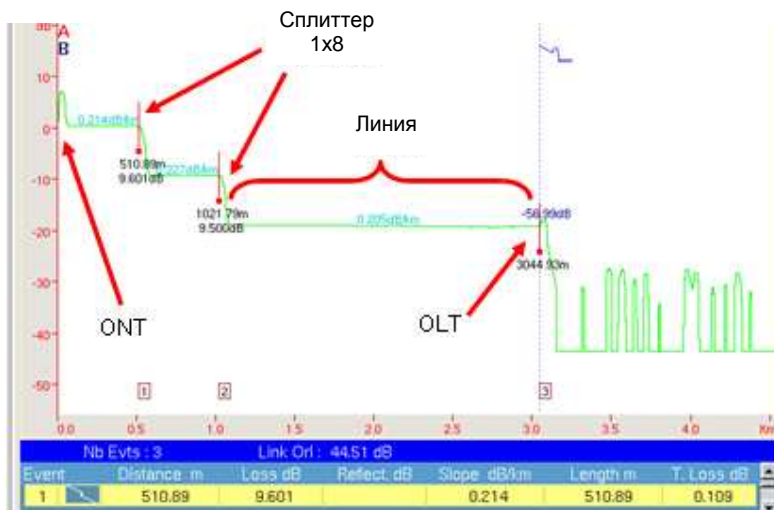


Рисунок 109: Пример рефлектограммы (направление от ONT к OLT), полученной от рефлектометра, оптимизированного для сетей PON

Активация сервисных услуг

На этапе подключения активного оборудования/запуска сервисов необходимо провести измерение следующих параметров:

1. При активации Сетевого узла – оценка уровня мощности на выходе передатчика OLT, выходных портах сплиттера и абонентского оконечного устройства на длинах волн 1490/1550 нм
2. При активации Абонентского терминала – оценка уровней мощности на выходе передатчика (1310 нм) и входе приемника ONT (1490/1550 нм)
3. При активации сервисов – оценка качества предоставляемых сервисов Triple Play.

Для проведения измерений необходимо применять специальные измерители мощности PON.

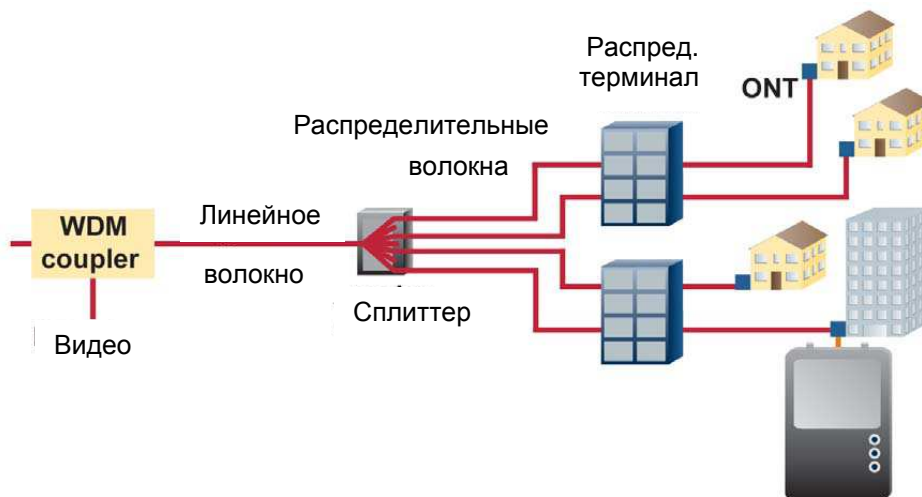


Рисунок 110: Измерение оптических параметров на этапе активации услуг с помощью PON тестеров

Проведение измерений в нескольких точках

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

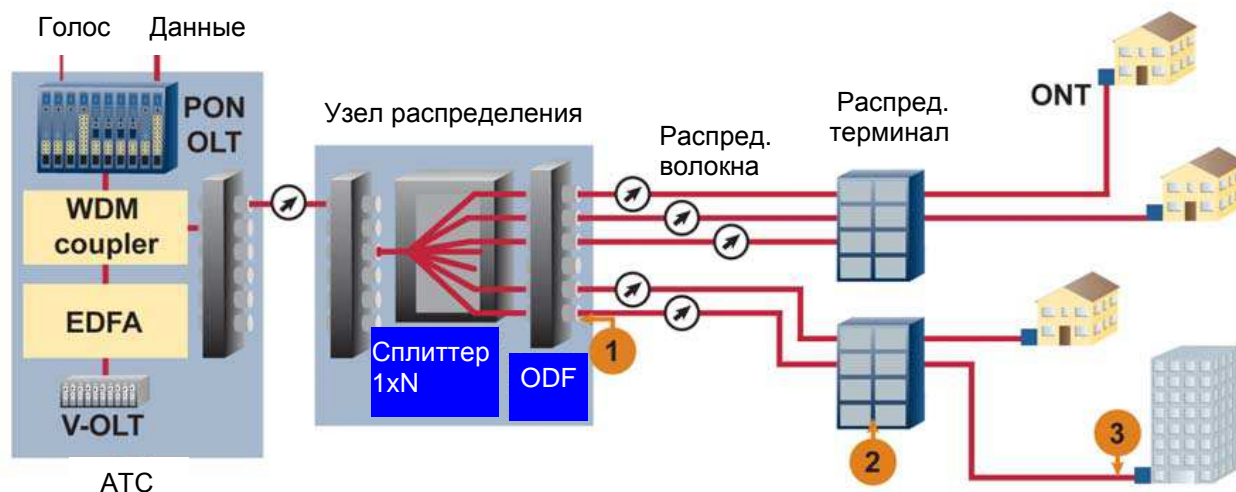
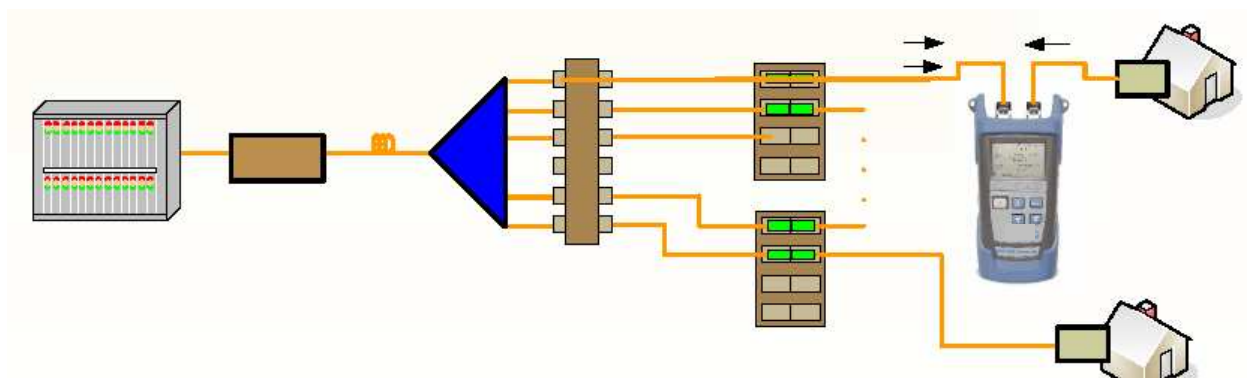


Рисунок 111: Проведение измерений в нескольких точках

Точки тестирования сети

1. Измерение уровня оптического сигнала на выходных портах сплиттера позволяет определить состояние как самого сплиттера, так и работоспособность всего участка сети от АТС до входного порта сплиттера (включая волокно линейного кабеля).
2. Измерение уровня оптического сигнала на портах распределительного терминала позволяет определить состояние распределительного волокна и оптические характеристики точки оконечивания и распределения в терминале. Как правило, увеличение затухания в распределительном терминале возникает из-за критично малого радиуса изгиба волокна при выкладке на кассете.
3. Подключение волокна к абонентскому терминалу обычно выполняется на этапе активации услуг. После подключения абонента необходимо синхронизировать устройства OLT и ONT. Измерения проводятся как на прямом, так и на обратном потоке. Поэтому для проведения измерений необходимо применять специальные измерители мощности PON, поскольку обычный измеритель мощности сможет корректно оценить только уровень сигнала прямого потока, приходящего от АТС.



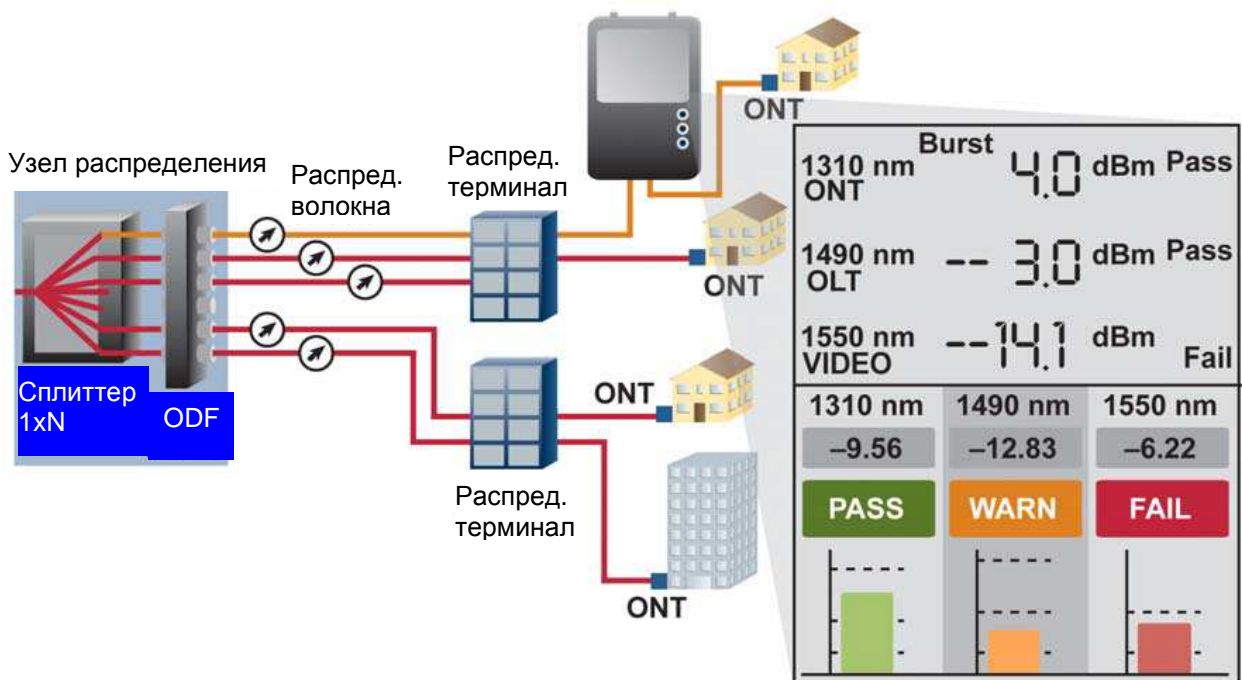


Рисунок 112: Измерения уровня оптического сигнала на трёх длинах волн
На рисунке: **PASS** – уровень сигнала в норме
WARN – предупреждение об опасно низком уровне сигнала
FAIL – очень низкий уровень сигнала

Отчёт об активации услуг

Технический персонал, обслуживающий сеть, должен составить отчёт, содержащий результаты измерений оптических характеристик всей сети, проведенных во время активации услуг.

Отчёт об активации услуг обычно содержит следующую информацию:

- Данные об абоненте (имя и номер телефона)
- Уровень сигнала на трёх длинах волн и в каждой точке проведения измерения
- Дата и время проведения каждого измерения
- Статус проведённых измерений (уровень сигнала в норме/опасно низкий уровень сигнала/очень низкий уровень сигнала).

OLT ID: 02 Center <—> ONT ID: 22 [JOB ID: Roger]				PASS	
Location	Wavelength (nm)	Power (dBm)	Status	Date/Time (MM/DD/YY HH:MM:SS)	
DROP	1310	0.9	PASS	10/01/09 13:45:28	
	1490	-7.1	PASS		
	1550	3.1	PASS		
ONT	1310	1.2	PASS	10/01/09 13:54:32	
	1490	-7.4	PASS		
	1550	3.4	PASS		
Comment:	ONT installed on the driveway side of the home close to side entry.				

APPLIED THRESHOLDS					
Location	Wavelength (nm)	Pass (dBm)	Warning (dBm)	Fail (dBm)	
DROP	1310	3.0	-4.5	-8.5	
	1490	-6.0	-13.0	-20.5	
	1550	12.8	4.7	-7.7	
ONT	1310	3.5	-4.5	-8.0	
	1490	-6.5	-14.0	-27.0	
	1550	15.3	-5.2	-9.2	

Рисунок 113: Отчёт об активации услуг

12 Поиск неисправностей

Измерения, связанные с поиском и устранением неисправностей в кабельной сети, включают в себя рефлектометрию на различных участках с использованием четырех длин волн:

- 1490 нм - передача голоса и данных (прямой поток) к абоненту;
- 1550 нм - дополнительный канал для передачи видеосигнала;
- 1310 нм - передача голоса и данных (прямой поток) от абонента;
- 1625/1650 нм - служебный канал для поиска неисправностей.

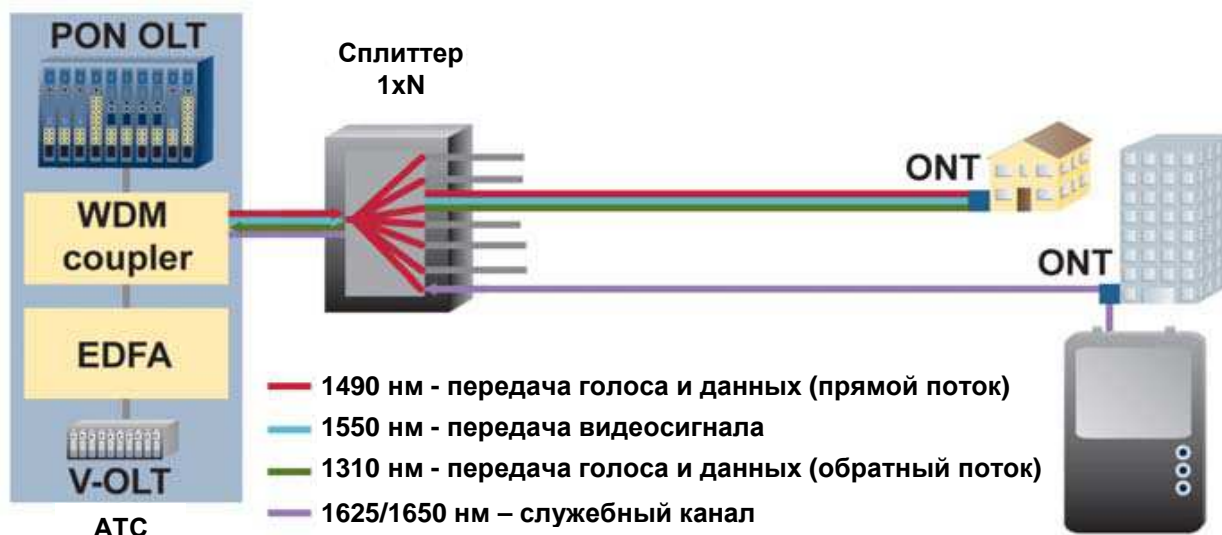


Рисунок 114: Поиск неисправностей в сетях PON

Так как большинство компонентов PON являются пассивными, наиболее часто проблемы в сети возникают по причине загрязнений, повреждений или плохого подключения коннекторов, а также обрывов или макроизгибов волокон оптического кабеля. В зависимости от места возникновения эти события оказывают влияние на отдельные или на все устройства ONT в сети.

К примеру, если происходит обрыв в кабеле между OLT (ATC) и первым сплиттером, неисправность легко идентифицируется рефлектометром – все ONT (Абоненты) в сети перестают работать. В случае, если возникает дефект (макроизгиб, загрязненный коннектор и т.п.) на одном из участков разветвленной оптической сети, испытывать проблемы будут только те ONT, которые расположены за дефектным участком. В таком случае идентифицировать источник неисправности - гораздо более сложная задача. Для этого прибор OTDR подключается к ONT и в режиме короткого импульса (3-5 нс) сканирует участок линии между ONT и сплиттером, что позволяет находить неисправности, не оказывая влияния на качество услуг, предоставляемых пользователям, подключенным к тому же сплиттеру. Поскольку измерения проводятся в режиме короткого импульса, точка расположения сплиттера будет отображаться на рефлектограмме как конец линии (из-за высокого вносимого затухания самого сплиттера). Затем сравнивается измеренное значение длины линии между ONT и сплиттером с эталонной длиной (зафиксированной на этапе активации услуг). Если длина измеренной линии не совпадает с эталонной, то возможное повреждение линии находится именно в точке, идентифицируемой рефлектометром как конец линии.

Общие характеристики оптических измерительных приборов

В таблице приведен перечень и описание оптических измерительных приборов, которые используются при тестировании сетей FTTH:

Название прибора	Назначение
Оптический микроскоп	Визуальный контроль состояния, а также выявление загрязнения и повреждения торцов оптических коннекторов
Оптический дефектоскоп	Визуальное определение места повреждения/ макроизгиба волокна, длиной до 5 км в коммутационных панелях и оптических распределительных устройствах
Оптический телефон	Организация служебной связи с использованием оптического волокна при проведении измерений
Оптический тестер (источник и приёмник)	Измерение вносимого оптического затухания и обратных потерь в двух направлениях
Измеритель мощности оптического сигнала	Измерение мощности оптического сигнала на выходе активного оборудования
Измеритель мощности оптического сигнала с устройством для подключения к неограниченному волокну	Измерение мощности оптического сигнала, передаваемого по волокну в любой точке сети с возможностью подключения без использования коннекторов
Измеритель мощности, адаптированный для сетей PON	Проведение измерений уровня оптического сигнала между OLT и ONT на трёх длинах волн 1310/1490/1550 нм прямого и обратного потока
Измеритель затухания обратных потерь	Измерение общего значения затухания обратных потерь всей волоконно-оптической линии связи
Оптический рефлектометр OTDR	Измерение всех оптических характеристик линии связи

Дополнение А: Стандарты Международной Электротехнической Комиссии для волоконно-оптических сетей широкополосного доступа

IEC 60793-1-1 Ed. 2	Волокна оптические. Часть 1-1. Методы измерения и методики испытаний. Общие положения и руководящие указания
IEC 60793-2 Ed 5	Волокна оптические. Часть 2. Технические условия на изделия
IEC 60794-1-1 Ed2	Волоконно-оптические кабели – Часть 1-1: Общая спецификация
IEC 60794-1-2 Ed2	Волоконно-оптические кабели – Часть 1-2: Общие требования – Основные методы испытаний
IEC 60794-2-10 Ed 3.0	Оптические волокна – Часть 2-10: Спецификация изделий – многомодовые волокна категории А1
IEC 60794-2-50 ED 2.0	Оптические волокна – Часть 2-50: Спецификация изделий – одномодовые волокна класса В
IEC 60794-2 Ed3	Волоконно-оптические кабели – Часть 2: Кабели для внутренней прокладки – Общая спецификация
IEC 60794-2-10 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-10: Кабели для внутренней прокладки – Спецификация для симлексных и дуплексных кабелей
IEC 60794-2-11 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-11: Кабели для внутренней прокладки – Детальная спецификация для симлексных и дуплексных кабелей, используемых для внутридомовой разводки
IEC 60794-2-20 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-20: Кабели для внутренней прокладки – Спецификация для многоволоконных оптических распределительных кабелей
IEC 60794-2-21 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-21: Кабели для внутренней прокладки – Детальная спецификация для многоволоконных оптических распределительных кабелей, используемых для внутридомовой разводки
IEC 60794-2-30 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-30: Кабели для внутренней прокладки – Спецификация для волоконно-оптических кабелей ленточной конструкции
IEC 60794-2-31 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-31: Кабели для внутренней прокладки – Детальная спецификация для волоконно-оптических кабелей ленточной конструкции, используемых для внутридомовой разводки
IEC 60794-2-40 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-40: Кабели для внутренней прокладки – Спецификация для для симлексных и дуплексных волоконно-оптических кабелей с волокном А4 в буферном покрытии
IEC 60794-2-40 Поправка 1 Ed1	Поправка 1 - Волоконно-оптические кабели – Часть 2-40: Кабели для внутренней прокладки – Спецификация для симлексных и дуплексных волоконно-оптических кабелей с волокном А4 в буферном покрытии
IEC/PAS 60794-2-50 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 2-50: Кабели для внутренней прокладки – Детальная спецификация для волоконно-оптических кабелей, используемых для изготовления оптических шнуров
IEC 60794-3 Ed3	Волоконно-оптические кабели – Часть 3: Кабели для внешней прокладки
IEC 60794-3-10 Ed 1	Волоконно-оптические кабели – Часть 3-10: Кабели для внешней прокладки – Спецификация для кабелей, прокладываемых в каналах кабельной канализации или непосредственно в грунт
IEC 60794-3-12 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 3-12: Кабели для внешней прокладки – Детальная спецификация для кабелей, прокладываемых в каналах кабельной канализации или непосредственно в грунт
IEC 60794-3-20 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 3-20: Кабели для внешней прокладки – Спецификация для самонесущих кабелей, подвешиваемых на опорах
IEC 60794-3-21Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 3-21: Кабели для внешней прокладки – Детальная спецификация для самонесущих кабелей, подвешиваемых на опорах
IEC 60794-3-30 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 3-30: Кабели для внешней прокладки – Спецификация для волоконно-оптических кабелей, прокладываемых по дну озёр и рек

IEC 60794-4 Ed1	Волоконно-оптические кабели – Часть 4: Волоконно-оптические кабели, подвешиваемые на опорах линий электропередач
IEC 60794-5	Волоконно-оптические кабели – Часть 5: Пневмопрокладка микрокабелей
IEC 60794-5-10 (не опубликовано)	Волоконно-оптические кабели – Часть 5-10: Спецификация для микрокабелей и микроканалов для пневмопрокладки
IEC 60794-5-20 (не опубликовано)	Волоконно-оптические кабели – Часть 5-20: Спецификация для волоконных модулей и микроканалов для пневмопрокладки

Термины и определения

АТС	Автоматическая телефонная станция
ВОЛС	Волоконно-оптическая линия связи
ОВ	Оптическое волокно
ОК	Оптический кабель
Пигтейл	Волоконно-оптический шнур, оконцованный коннектором с одной стороны
Патчкорд	Волоконно-оптический шнур, оконцованный коннекторами с двух сторон
ADSS	Полностью диэлектрический самонесущий кабель
APC	Угловой физический контакт
ATM	Режим асинхронной передачи
CATV	Кабельное телевидение
CWDM	Грубое волновое мультиплексирование
DWDM	Плотное волновое мультиплексирование
FCP	Точка концентрации волокон
FBT	Сплавной биконический ленточный (сплиттер)
FDH	Оптический распределительный узел
FTTC	Волокно до шкафа
FTTB	Волокно до дома
FTTH	Волокно до абонента (в квартиру)
FTTN	Волокно до узла
FTTx	Общий термин для всех технологий «волокно – до – точки x»
HDPE	Полиэтилен высокой плотности
IL	Вносимые потери оптического сигнала
ISO	Международная организация по стандартизации
IEC	Международная Электротехническая Комиссия
ITU-T	Международный Союз Электросвязи
LAN	Структурированные кабельные сети (СКС)
LSZH	Не распространяющий горение и не выделяющий галогены материал
MDU	Многоэтажное и многоквартирное здание
ODF	Оптическая панель
OLT	Оптический линейный терминал
ONU	Оптическое сетевое устройство
ONT	Оптический сетевой терминал
OPGW	Оптический кабель, интегрированный в грозозащитный трос
OTDR	Оптический рефлектометр
PON	Пассивная оптическая сеть
POP	Точка присутствия (или сетевой узел/узел агрегации)
PVC	Поливинилхлорид
RL	Обратные потери
UPC	Физический контакт с ультраполировкой
UPC	Устройство для обеспечения бесперебойного электропитания