

# Пассивные оптические сети



Новейшие скоростные сети доступа  
Эффективность капитальных затрат  
Снижение операционных расходов  
Решения для цифрового стиля жизни

 **R&M**

Convincing cabling solutions

# PON: базовые сведения

**Оптические сети имеют серьезные преимущества перед сетями, построенными на основе обычного медного или коаксиального кабеля. Они обеспечивают гораздо более высокие скорости передачи данных на большие расстояния и при этом абсолютно нечувствительны к электромагнитным помехам и перекрестным наводкам**

Запросы пользователей в отношении скорости подключения к сети стремительно растут. Казалось, еще вчера мы использовали Интернет только для пересылки электронных писем, а сегодня это не только доступ к богатым графикой веб-серверам, но и среда для телефонной связи и обмена видео. Многие операторы ориентируются на концепцию Triple Play, которая предполагает доставку по одному каналу доступа сразу трех видов информации – данных, речи и видео. Требования же пользователей к качеству видео постоянно повышаются: все больше людей начинают привыкать к высокому разрешению (HDTV). Чтобы обеспечить доставку всего этого мультимедийного богатства, безусловно, нужна оптика.

Идеальным вариантом может показаться подключение каждого пользователя индивидуальным волокном. Возможности расширения полосы пропускания в такой сети будут практически безграничными, однако существует одно серьезное «но». Огромное число соединений точка-точка потребует большого числа активных компонентов и волоконно-оптических кабелей, а потому такая сеть будет иметь

неподъемно высокую стоимость. Пассивные оптические сети (PON) решают эту проблему: в них до 64 абонентов могут совместно использовать одно волокно на большей протяженности сети доступа, что значительно снижает стоимость сети.

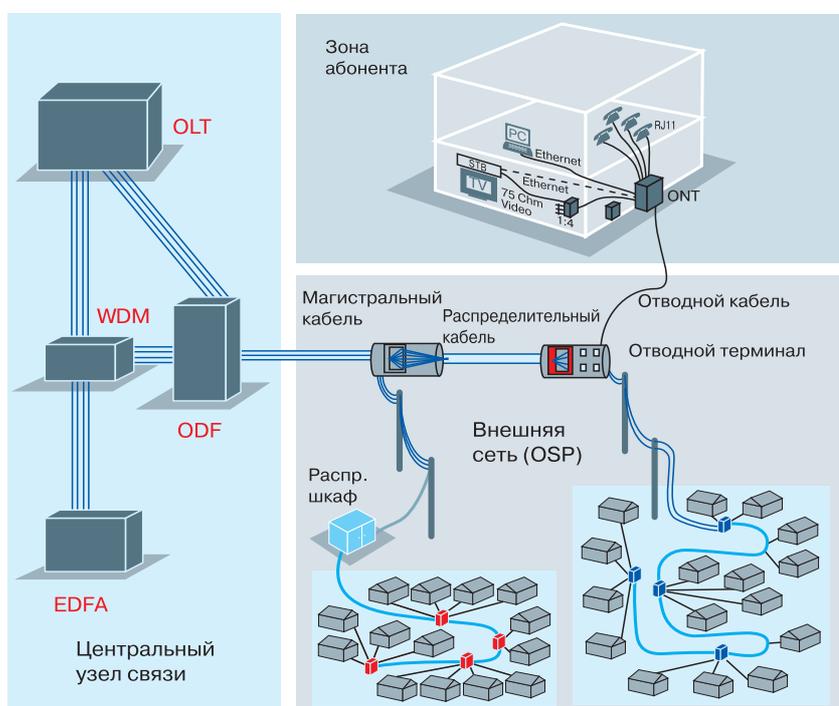
Один из главных вопросов, который волнует сегодня многих операторов, – до какого места доводить оптику в сетях FTTx. Чтобы не устанавливать активное оборудование где-то на улице – между узлом связи и домом абонентов, все больше экспертов рекомендуют перемещать границу между оптикой и медью в дома абонентов, т. е. ратуют за вариант FTTB (оптика до здания) или FTTH (оптика до дома). По этому принципу и строятся сети PON.

В пассивных оптических сетях (PON) в самой инфраструктуре не используется активная электроника, а значит, ее элементам не требуется электропитание, что значительно снижает расходы на эксплуатацию. Вместе с тем для многих операторов PON – технология новая, поэтому для успешного развертывания оптических инфраструктур требуется тщательная подготовка и обучение персонала.

## Основные варианты

На сегодняшний день основными вариантами PON являются технологии GPON (Gigabit PON) и GEAPON (Gigabit Ethernet PON). Первая из них описана в стандарте МСЭ-Т G.984, принятом в конце 2005 г. Разработчиком GEAPON выступил комитет EFM (Ethernet in the First Mile) института IEEE. В 2004 г. им был принят стандарт IEEE 802.3ah, в котором и определена технология GEAPON, которую также часто называют EPON. В системах EPON в качестве транспортного протокола используется Ethernet и поддерживаются битовые скорости нисходящего и восходящего потоков по 1250 Мбит/с. Пропускная способность нисходящего канала в сетях GPON – до 2,5 Гбит/с.

Основное отличие технологий GPON и EPON заключается в активном оборудовании. Пассивная инфраструктура, которой и посвящена данная брошюра, практически одинакова. Тем не менее, в дальнейшем для конкретизации мы будем ссылаться на технологию GPON.



Общая схема построения сети PON

Инфраструктуру PON можно разделить на три области:

- центральный узел связи (central office, CO),
- внешняя сеть (outside plant, OSP),
- зона абонента (customer premise).

Все активное оборудование в сети PON расположено на концах каналов. На узле связи это оборудование OLT (Optical Line Termination), а в абонентской области – ONT (Optical Network Termination). Между этими элементами – только пассивные компоненты: волоконно-оптический кабель и делители сигнала (сплиттеры).

Технология	Стандарт	Скорость вниз/вверх	Максимальный коэффициент деления	Дальность (км)
GPON	ITU-T G.984	2,5/1,25 Гбит/с	64	20
EPON	IEEE 802.3ah	1,25/1,25 Гбит/с	32	20

# PON: базовые сведения

## Емкость сети

Оборудование OLT служит своеобразным мультиплексором, обслуживающим множество соединений с устройствами ONT. Один GPON-порт этого оборудования способен поддерживать до 64 абонентов (при использовании сплиттера или нескольких сплиттеров с суммарным коэффициентом деления сигнала 1:64). Таким образом, 72-портовое GPON-оборудование OLT может обслуживать до 4608 абонентов.

Хотя ресурсы одного порта OLT совместно используются большим числом абонентов, между ним и каждым устройством ONT формируется виртуальный канал точка-точка, и вся пропускная способность порта делится между такими каналами. Как уже говорилось, поддерживаемая на одном порту GPON-оборудования OLT максимальная скорость передачи

трафика к абоненту (вниз) составляет 2,5 Гбит/с, а от абонента (вверх) – 1,25 Гбит/с. Фактическая же полоса пропускания, выделяемая каждому абоненту, обычно зависит от соглашения, заключенного им с сервис-провайдером.

Вниз по «дереву» PON трафик распространяется в широкополосном режиме, при этом используется длина волны 1490 нм. Каждое устройство ONT выбирает из широкополосного потока предназначенную только ему информацию. Передача данных вверх осуществляется на длине волны 1310 нм в так называемом пакетном режиме (burst): оборудование OLT выделяет каждому устройству ONT тайм-слот для передачи. Физически топология имеет вид «точка – много точек» (P2MP), но при этом формируются виртуальные каналы точка-точка (P2P) с динамическим выделением полосы пропускания в пакетном режиме.

Выше предполагалось, что каждое устройство ONT обслуживает одного абонента. На самом деле существуют так называемые групповые (многопользовательские) устройства ONT, которые, принимая один канал PON, могут «расширять» его на несколько, скажем, 12 портов VDSL или Gigabit Ethernet, к которым и подключаются конечные пользователи. В этом случае число абонентов, поддерживаемых одним портом оборудования OLT, может значительно вырасти. Однако на практике даже при использовании групповых устройств ONT желательно ограничивать число абонентов 64-мя (на каждый порт OLT), чтобы можно было гарантировать единые параметры качества обслуживания абонентов, подключенных к таким ONT, и абонентов, работающих через однопользовательские устройства ONT.



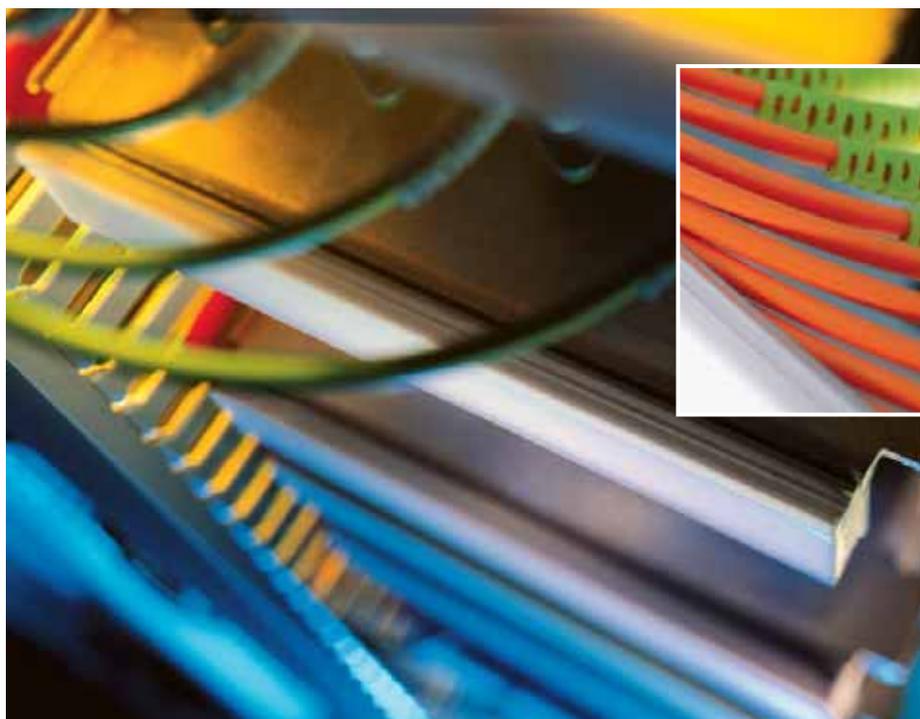
## Наложение видеосигнала

Дополнительно в сетях GPON предусмотрен 1550-нм канал, который можно использовать для трансляции видео в аналоговом или цифровом (модуляция QAM) виде. Видеосигнал в радиочастотном диапазоне (RF), идущий, например, от головной станции кабельного телевидения, преобразуется в оптический 1550-нм сигнал, затем усиливается оборудованием, получившим название V-OLT (Video OLT), – для этого применяются усилители на волокне,

легированном эрбием (EDFA), – и далее с помощью WDM-капле-ра смешивается с основным 1490-нм сигналом и транслируется по дереву PON. Устройства OLT выделяют 1550-нм сигнал, преобразуют его в RF-формат и направляют на приемник (телевизор). В случае если наложенная трансляция видео не планируется, оборудование V-OLT и WDM не требуется, и оптические кабели с аппаратуры OLT подключаются непосредственно к оптическому кроссу.

Используемые современными системами кабельного те-

левидения частотные ресурсы позволяют транслировать до 135 телеканалов, которые по 1550-нм каналу «прозрачно» доставляются через сеть PON. Таким образом, сервис-провайдер может, используя имеющееся ТВ-оборудование, традиционным способом предоставлять видеослужбы через сеть PON. В дальнейшем видео может быть переведено в основной трафик (1490 нм), что позволит, например, предоставлять услуги IP-TV с интерактивными функциями и другими расширенными возможностями.



# Основные элементы

Основными элементами пассивной инфраструктуры сети PON являются волоконно-оптические кабели, различные типы коннекторов и сплиттеры. От их качества и рабочих характеристик во многом зависит надежность работы сети

## Волокна

Любая система оптической связи начинается с оптического волокна. В структурированных кабельных системах ЛВС, центрах обработки данных и на относительно коротких участках (до 2 км) других сетей в основном используют многомодовые волокна, в которых распространяется множество различных типов световых лучей (мод). Именно многомодовые волокна стали первым типом волокна, который стал производиться на коммерческой основе. Диаметр сердцевины (светонесущей жилы) такого волокна составляет 50 или 62,5 мкм, что на порядок выше длины волны передачи, поэтому по нему и могут передаваться сотни мод. Многомодовое волокно принято разделять по классам (OM1, OM2, OM3), согласно международному стандарту ISO/IEC 11801. Волокно OM3 специально было разработано для высокоскоростных (гигабитных и 10-гигабитных) систем и оптимизировано для использования с эконо-

мичными VCSEL-лазерами. По своим рабочим характеристикам волокна OM1 и OM2 уступают волокну OM3 и постепенно отходят в прошлое.

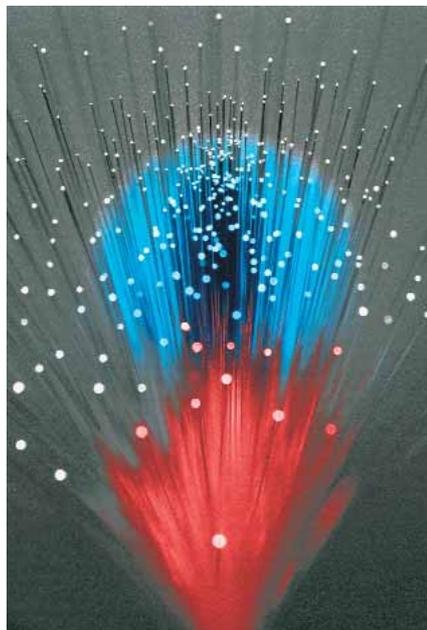
В сетях связи, в том числе в сетях PON, преимущественно используют одномодовые волокна, которые позволяют передавать сигналы с большими скоростями на значительно большие расстояния. В таких волокнах диаметр сердцевины составляет 8—10 мкм, т. е. он сопоставим с длиной световой волны. Диаметр оболочки многомодовых и одномодовых волокон унифицирован и равен 125 мкм. Для защиты любого волокна на него обязательно накладывается покрытие, диаметр волокна с защитным покрытием обычно составляет 245 мкм. Для классификации одномодовых волокон обычно используют стандарты серии G.65x Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). Кроме того, характеристики таких волокон специфицированы в документе ISO/IEC 11801 (классы OS1 и OS2).

Наиболее широкое распространение в сетях связи получило классическое волокно с несмещенной дисперсией, оно описано в рекомендации МСЭ-Т G.652. Характеристики этого волокна оптимизированы для работы во втором окне прозрачности (1310 нм), в котором оно имеет очень низкую дисперсию. Кроме того, это волокно может использоваться в третьем окне прозрачности (1550 нм) и даже в четвертом окне (1625 нм). Существует волокно с несмещенной дисперсией, в котором удален так называемый гидроксильный пик между вторым и третьим окнами прозрачности. Создание такого волокна открыло новые возможности по более эффективному использованию технологии спектрального уплотнения WDM. Характеристики волокна без гидроксильного пика определены в рекомендациях МСЭ-Т G.652.C и G.652.D.

Рост интереса к проектам FTTx обусловил появление рекомендации G.657, в которой указаны характеристики волокон с низкими потерями на изгиб. При построении сетей доступа и инфраструктур внутри помещений вероятность более резких изгибов ка-

беля гораздо выше, чем при построении магистралей. Здесь уместно вспомнить ограниченные пространства уличных монтажных шкафов и технологических пространств внутри помещений, а также зачастую не слишком высокую квалификацию монтажников, работающих на «последней миле». В общем, волокна для сетей доступа должны быть более устойчивы к изгибам, чем волокна магистральных кабелей, что и зафиксировано в рекомендации G.657.

Компания R&M предлагает кабели с различными типами волокон, в том числе с волокном, соответствующим рекомендации G.657. При изгибах с радиусом 7,5 мм оно вносит затухание менее 0,5 дБ, а при изгибах радиусом 10 мм – менее 0,1 дБ (в обоих случаях указано затухание на длине волны 1550 нм). Использование таких кабелей значительно упрощает и удешевляет прокладку кабельной инфраструктуры в ограниченных пространствах.



# Основные элементы

## Кабели и способы их прокладки



### Пример конструкции волоконно-оптического кабеля

Главным элементом оптических кабелей, безусловно, являются оптические волокна. Их обычно окрашивают специальным лаком (для идентификации волокон), а затем размещают в полимерных или металлических трубках – оптических модулях или укладывают в ленточную конструкцию. Оптические модули могут быть скручены вокруг центрального элемента с образованием оптического сердечника, на который при необходимости накладывают защитную броню. Последняя выполняется из стальной проволоки, гофрированной ленты, стеклопластиковых прутков или арамидных (высокопрочное углеродное волокно) нитей. Наконец, бронированный кабель заключают во внешнюю оболочку.

Конструкции кабелей определяются, в первую очередь, условиями их прокладки и эксплуатации. Существует три основных метода прокладки кабелей:

1. Непосредственная прокладка кабеля в грунт, например, в траншею. Кабели, предназначенные для такой прокладки, должны иметь наиболее прочную броню, а также максимальную защиту от влаги и грызунов.
2. Прокладка по подземной кабельной канализации. Строительство кабельной канализации обходится дороже, чем прокладка кабеля непосредственно в грунт, но ее исполь-

зование значительно упрощает добавление и удаление кабелей. Кроме того, в этом случае можно использовать более легкие кабели с меньшей степенью защиты.

3. Воздушная подвеска на столбах или вышках. Обычно этот метод используют в местах массовой застройки; он не требует использования тяжелой техники (которая необходима при подземной прокладке), а потому экономически более выгоден. Оптический кабель может быть подвешен на несущий трос; также может быть использован самонесущий оптический кабель.



Компания R&M предлагает оптические кабели с любым количеством волокон (от 2 до 96 и более) различного типа (многомодовые OM1, OM2, OM3 и одномодовые, в том числе G.657) для разных приложений и способов укладки. В ассортименте компании есть кабели для непосредственной прокладки в земле и в специальных трубах кабельных канализаций, для подвески на опоры, прокладки в помещениях в пленумных пространствах (например, под фальшполом) и другими способами. Особо следует отметить кабель с возможностью вытягивания индивидуальных волокон, покрытых специальной оболочкой. Использование такого кабеля позволяет избежать необходимости установки этажных коробок при разводке по многоквартирному дому в проектах FTTH.

## **Прокладка волокна методом задувки**

В последнее время повышенный интерес вызывают альтернативные технологии прокладки волоконно-оптических кабелей, в том числе методом вдувания. Идея подобных систем проста: на этапе строительства инфраструктуры в

защитные трубки (ducts) прокладываются недорогие микротрубки (microducts), а затем по мере необходимости в них задувается оптическое волокно нужного типа. Преимущества подобных систем понятны: при относительно небольших начальных инвестициях (не надо сразу прокладывать все кабели) оператор получает инфраструктуру, которая позволяет добавлять кабели тогда, когда это необходимо, столько, сколько необходимо, и с такими характеристиками, которые необходимы. Системы на основе микротрубок можно использовать как на магистрали, так и для внутридомовой разводки.

В решении, предлагаемом компанией R&M, используются защитные трубки диаметром от 16 до 63 мм. Микротрубки выпускаются четырех основных размеров: 4, 7, 10 и 12 мм. В 4-мм микротрубку может быть уложено до 6 волокон, в 12-мм – 144 волокна. Внутренняя поверхность микротрубок обработана специальным образом, чтобы снизить трение при задувке волокон. Задувка новых волокон в системах на основе микротрубок осуществляется довольно просто с помощью сжатого воздуха.



При использовании подобных систем в высотных зданиях в стояке прокладывается гибкая трубка с предварительно установленными микротрубками. На каждом этаже нужно число микротрубок отводится с помощью специальных Y-образных коннекторов. При появлении нового абонента волокно вдувается до его квартиры или офиса из центральной точки. Систему, предлагаемую компанией R&M, можно использовать в 20-этажном здании высотой до 75 м.

# Основные элементы

## Соединения: разъемные и сварные

Коннектор – важнейший элемент кабельной оптической инфраструктуры. Сегодня на рынке представлено большое число различных типов коннекторов, однако в сетях FTТх чаще всего используют коннекторы SC: они относительно дешевы, надежны, их просто подключать и отключать. Вместе с тем растет популярность коннекторов LC: они компактнее, а значит, позволяют повысить плотность соединений, что важно в условиях дефицита площади технических помещений. Обычно принято считать, что один оптический коннектор увеличивает затухание сигнала максимум на 0,5 дБ. На самом деле для сетей PON, в которых на участке от OLT до ONT

имеется несколько соединений, это недопустимо много. Типичный оптический коннектор вносит потери порядка 0,1—0,2 дБ. Для сравнения: потери на сварном соединении обычно не превышают 0,02 дБ.

Компания R&M предлагает все основные типы волоконно-оптических коннекторов. Следует выделить коннектор E-2000, который обеспечивает характеристики соединения, соответствующие наивысшему классу А (Grade A, стандарт IEC 61755-1): потери 0,07 дБ, возвратные потери более 68 дБ. Данный коннектор имеет автоматически подпружиненные защитные крышки, которые защищают контакт от пыли, грязи и царапин, а инсталляторов – от поражения лазерными лучами. Уни-

кальная трехуровневая система безопасности, свойственная большинству продуктов R&M, обеспечивает максимальную защиту сети, а моноблочная керамическая феррула – устойчивость к деформации поверхности даже при эксплуатации в экстремальных средах. Полупрозрачные материалы коннектора облегчают монтажникам проверку волокна с помощью «красного» лазера.

### Коннектор E-2000

- Потери в соединении 0,07 дБ
- Подпружиненные защитные крышки
- Трехуровневая система безопасности
- Уникальная система защелки «тяни-толкай»
- Сменные защелки и рамки для маркировки



# Основные элементы

Основная задача коннекторов – обеспечить механическое соединение двух волокон для прохода оптических сигналов из одного в другое. Пыль, влага и другие загрязнения в месте контакта значительно ухудшают качество соединения. Поэтому перед каждым соединением коннекторы необходимо тщательно очищать, что особенно важно при эксплуатации в полевых условиях, например в уличном шкафу. Также необходимо, когда коннектор не используется, защищать его специальной защитной крышечкой.

Сварка (splicing) обеспечивает соединения с лучшими характеристиками, чем разъемные коннекторы. Сварное соединение происходит путем сплавления волокон в специальных аппаратах. Затем область сварки защищается специальной трубкой, выполненной из нержавеющей стали. Ускорить процедуру сварки волокон можно при использовании ленточных кабелей (в которых волокна расположены в одну линию) и специальных аппаратов, способных сваривать сразу

несколько (например, 12) волокон. Обычно такие кабели используются только на магистральном участке PON.

Хотя сварные соединения имеют свои преимущества, обойтись только сваркой нельзя. Использование разъемных коннекторов необходимо для обеспечения гибкости при подключении новых абонентов и внедрении новых сервисов, для тестирования сети и выполнения других задач, возникающих в процессе эксплуатации.

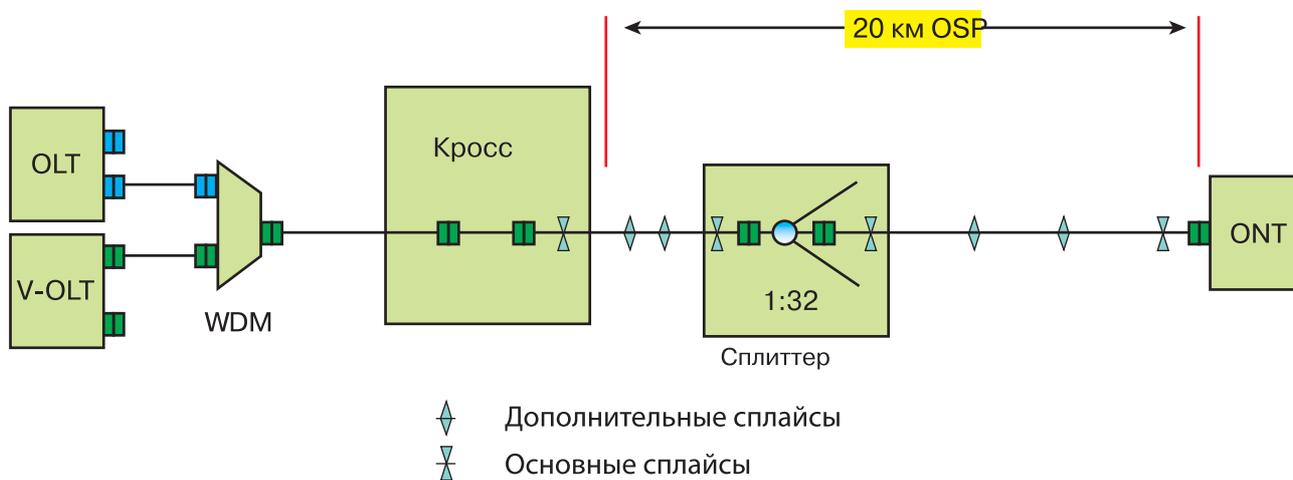


# Основные элементы

## Коннекторы UPC и APC

На рисунке представлена типичная схема соединений в инфраструктуре PON, при этом соединения коннекторов типа UPC (Ultra Polished Connector) показаны синим цветом, а соединения типа APC (Angle Polished Connector) – зеленым. (Коннекторы всех основных разновидностей – FC, SC, LC, E-2000 – выпускаются обоих типов – UPC и APC.) Как видно, соединения APC используются во внешней сети, а также в той части сети внутри узла связи, которая используется для передачи видеосигнала.

Connector) – зеленым. (Коннекторы всех основных разновидностей – FC, SC, LC, E-2000 – выпускаются обоих типов – UPC и APC.) Как видно, соединения APC используются во внешней сети, а также в той части сети внутри узла связи, которая используется для передачи видеосигнала.



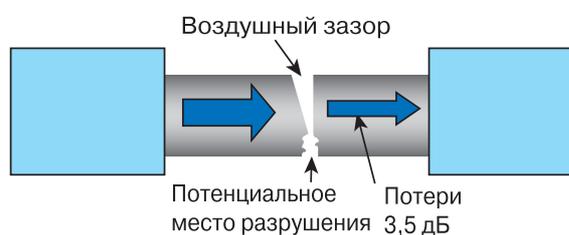
Типичная схема соединений в инфраструктуре PON



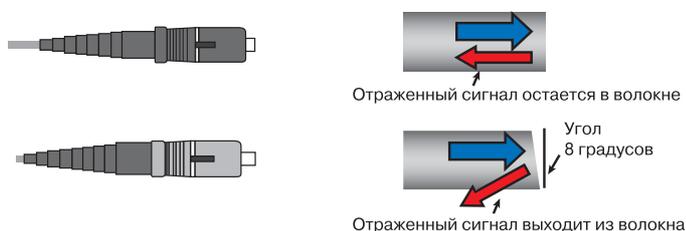
В коннекторе APC торец скошен под углом  $8^\circ$ , поэтому отраженная от границы часть оптического сигнала выходит из волокна (см. рисунок). При соединении двух идеально очищенных коннекторов UPC обратного отражение не происходит вовсе, но если на границе имеется грязь, то возникают серьезные проблемы из-за отраженного сигнала. Поскольку в полевых условиях, как уже говорилось, избежать загрязнения коннекторов гораздо сложнее (чем в помещении узла связи), то во внешней сети рекомендуют применять коннекторы APC, которые не ухудшают характеристики канала из-за обратного отражения.

Одна из наиболее распространенных проблем возникает, когда коннектор UPC подключают к коннектору APC. Зачастую это происходит непреднамеренно, поскольку инсталлятор просто не знает разницы между этими двумя типами коннекторов. Однако это случается и из-за того, что

кабеля с подходящим коннектором нет под рукой, а также когда инсталлятор специально хочет увеличить затухание в канале. При соединении разнотипных коннекторов в месте контакта



## Повреждение торцов коннекторов



## Коннекторы SC-APC и SC-UPC

UPC-APC образуется воздушный зазор, который ведет к потерям 3,5 дБ и даже более. Кроме того, такое соединение чревато повреждением торцов обоих волокон.

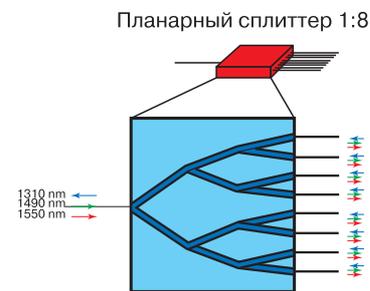
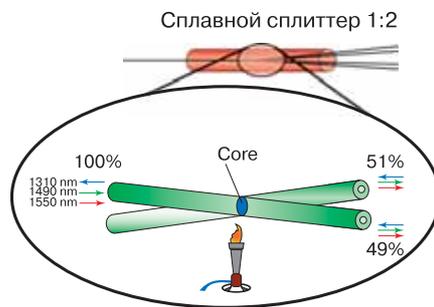


# Основные элементы

## Сплиттеры

Сплиттеры – важнейшие элементы инфраструктуры PON, которые обеспечивают деление оптического сигнала. Существуют два основных типа сплиттеров: сплавные и планарные.

Первые выполнены по сплавной технологии (FBT, Fused Biconical Taper): два волокна с удаленными внешними оболочками сплавляют в элемент с двумя входами и двумя выходами (2:2), после чего один вход закрывают безотражательным методом, и, таким образом, формируется сплиттер 1:2. При изготовлении сплавного сплиттера можно обеспечить разделение мощности в различных пропорциях, например 20/80 (20% мощности сигнала идет в одно «плечо», 80% – в другое), но в сетях PON, как правило, применяют сплиттеры с равномерным разделением мощности 50/50. Вместе с тем всегда существует некая погрешность при разделении сигнала, в результате которой в одно «плечо» уходит, скажем, 51% мощности, а в другое – 49%. Последовательным соединением сплавных сплиттеров 1:2 можно получить элементы с большими коэффициентами деления, но, как правило,



Основные технологии изготовления сплиттеров

выполненные по этой технологии сплиттеры имеют коэффициент деления не более 1:8.

С помощью планарной технологии (PLC, Planar Lightwave Circuit Coupler) на полупроводниковой пластине формируется множество микроделителей 1:2, объединенных в сплиттер с нужным коэффициентом деления. Технология позволяет изготавливать компактные и высоконадежные сплиттеры с большим числом волокон (1:32). Однако стоимость сплиттеров PLC выше (примерно на 60–100%) стоимости сплиттеров FBT.

При выборе типа сплиттеров, помимо цены и коэффициента деления, необходимо учитывать еще массу факторов. Например, то, что планарные сплиттеры

способны работать в более широком диапазоне температур (-45°C до +85°C), чем сплавные (от -25°C и даже от -40°C до +75°C) и что они также обладают более линейной амплитудно-частотной характеристикой по сравнению со сварными сплиттерами (важно для систем со спектральным уплотнением).

Компания R&M предлагает широкий выбор сплиттеров обоих типов – сплавных и планарных – в различных вариантах корпусов – от трубчатого диаметром 3 мм (длина 60 мм) до защищенного размерами 100 x 80 x 10 мм. Сплиттеры устанавливаются в полки, исполнение которых зависит от особенностей проекта (заказчик выбирает конструкцию, размеры, систему организации волокна).

- Сплавные сплиттеры (FBT) с коэффициентом деления до 1:8
- Планарные сплиттеры (PLC) с коэффициентом деления до 1:32
- Для сплиттера 1:2 разные уровни деления мощности (от 1/99 до 50/50)
- Различные корпуса – от трубчатого  $\varnothing 3,0$  мм до защищенного 100x80x10 мм
- Сборка со всеми типами оптических разъемов



## Каплеры и мультиплексоры WDM

Выше уже упоминалось использование WDM-каплера для ввода в дерево PON дополнительного канала на длине волны 1550 нм. Суть технологии спектрального разделения каналов (WDM) состоит в увеличении пропускной способности одного волокна за счет передачи по нему нескольких информационных каналов, каждый – на своей длине волны. Эта идея активно используется при разработке PON-сетей следующего поколения, получивших название WDM-PON, в которых пропускная способность и емкость волоконно-оптической инфраструктуры значительно увеличивается за счет формирования множества спектральных каналов. Стандарты на технологию WDM-PON еще находятся в стадии разработки, однако опытные сети уже строятся, например, в Южной Корее.

Существует два основных варианта технологии WDM: плотный (Dense WDM, DWDM) и разреженный (Coarse WDM, CWDM). В первом случае спектр делится

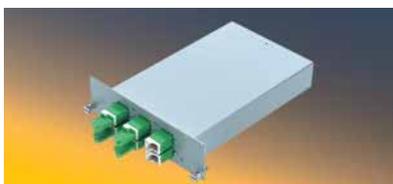
на очень узкие каналы (от 0,4 нм), что, с одной стороны, обеспечивает большое число спектральных каналов, а с другой – повышает стоимость оборудования WDM. Системы DWDM используются в первую очередь на каналах дальней связи. В интересующих нас городских сетях доступа гораздо экономичнее использовать второй вариант – CWDM. В этом случае спектр в диапазоне от 1270 до 1610 нм «нарезается» на гораздо более широкие каналы – по 20 нм. Оборудование CWDM стоит значительно дешевле систем DWDM.

Существует несколько основных технологий изготовления каплеров и мультиплексоров WDM. Одна из простейших схожа со сплавной технологией FBT, применяемой при производстве сплиттеров. При сплавлении волокон из-за различия диаметров модового пятна могут быть выделены различные длины волн, каскадирование таких устройств позволяет выделить много длин волн. К преимуществам элементов WDM, изготовленных по технологии FBT, относится невысо-

кая стоимость, низкое затухание и возможность работы в широком частотном диапазоне, к недостаткам – невысокая волновая изоляция.

Вторая технология – Thin Film Filters (TFF) – основана на изготовлении тонкопленочных фильтров с помощью ионно-лучевого напыления. Такой фильтр состоит из нескольких слоев специальных материалов (каждый со своим индексом отражения), при прохождении которых отражается или передается только одна длина волны. Элементы WDM, построенные на основе TFF-фильтров, характеризуются низким уровнем затухания, дисперсии и отраженного сигнала, а также высокой волновой изоляцией.

Компания R&M предлагает большой выбор WDM-каплеров и мультиплексоров, изготовленных на основе технологий FBT и TFF. Они могут поставляться установленными в модулях высотой 3U и в 19-дюймовых полках высотой 1U. Для внешних применений возможна установка WDM-элементов в распределительные шкафы и коробки.



- WDM-каплер 1310/1550 нм (FBT и TFF)
- 4- или 8-канальный мультиплексор/демультиплексор CWDM (TFF)
- 4+1 канальный мультиплексор/демультиплексор (1490, 1510, 1530, 1550 нм + 1310 нм)
- 8+1 канальный мультиплексор/демультиплексор (1490-1610 нм + 1310 нм)
- CWDM- и DWDM-решения по спецификации заказчика

# Центральный узел

**Центральный узел сети PON часто оборудуется в помещении АТС или, например, головной станции сети кабельного ТВ. В принципе аппаратура этого узла – OLT, V-OLT и WDM – может быть размещена в любом контролируемом оператором помещении или даже в контейнере, в котором поддерживается необходимый температурно-влажностный режим**

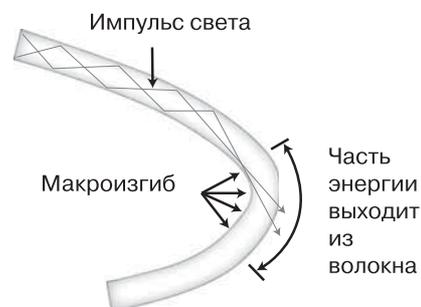
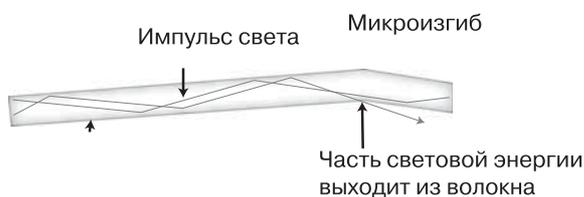
Обычно оборудование центрального узла PON обслуживает абонентов в радиусе 20 км. Хотя стандарт допускает удаление абонентов на расстояние до 60 км, ограничения используемой в устройствах ONT оптики и практикуемый коэффициент деления сигнала ограничивает зону обслуживания до указанных 20 км. Увеличение дальности может достигаться, например, выносом оборудования OLT.

Число абонентов, обслуживаемых одним центральным узлом PON, зависит от многих факторов: плотности потенциальных потребителей в данном районе, набора предоставляемых услуг, особенности бизнес-стратегии оператора и т. д. В качестве примера предположим, что один центральный узел должен обслуживать порядка 20 тыс. абонентов. Тогда при коэффициенте деления 1:64 в нем должно подключаться, по меньшей мере, 313 волокон магистральных кабелей, а при делении 1:32 – 626 волокон. Это требует применения эффек-

тивных средств для организации и эксплуатации кабельного хозяйства.

Оптические кабели и коннекторы используются для передачи информации с высокой скоростью и на большие расстояния. Инсталляция и эксплуатация оптических кабельных инфраструктур требует специальных навыков и знаний, которые отличаются от тех навыков и знаний, которых достаточно для обслуживания сетей, построенных на основе обычных медных и коаксиальных кабелей. Качественная подготовка, очистка, терминирование и укладка оптических кабелей являются важной составляющей надежной и высокопроизводительной работы сети.

Проблемы в работе сети очень часто связаны с ошибками, сделанными при инсталляции или обслуживании оптической кабельной системы. Так, чрезмерный изгиб или сдавливание кабеля могут привести к тому, что часть световой энер-



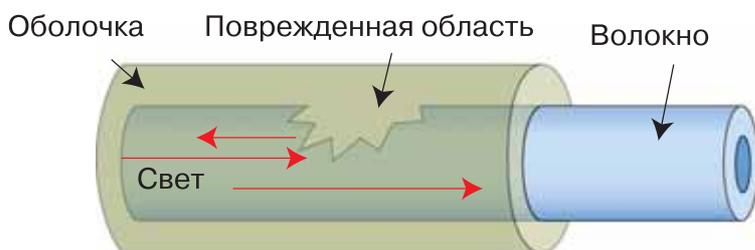
### Микро- и макроизгибы оптического кабеля

гии выйдет из волокна и произойдет существенное затухание сигнала. Это негативное явление имеет место даже в случае так называемых микроизгибов (microband), которые могут появиться, например, при силь-

ном стягивании оптических коммутационных шнуров жгутом или когда сверху такого шнура будет проложен тяжелый медный кабель. Макроизгибы (macrobend) являются следствием превышения предела, установ-

ленного для минимального радиуса изгиба кабеля, и еще больше увеличивают затухание сигнала.

Особо тщательно надо следить за тем, чтобы не допустить раздавливание волокна, которое может произойти, когда инсталлятор случайно наступит на кабель или зажмет его дверью монтажного шкафа. Внешне может быть вообще ничего не заметно (или видно лишь небольшое сплющивание оболочки кабеля), однако при этом под оболочкой волокно будет сильно повреждено, что значительно ухудшит характеристики канала связи.



Повреждение волокна под оболочкой

# Центральный узел

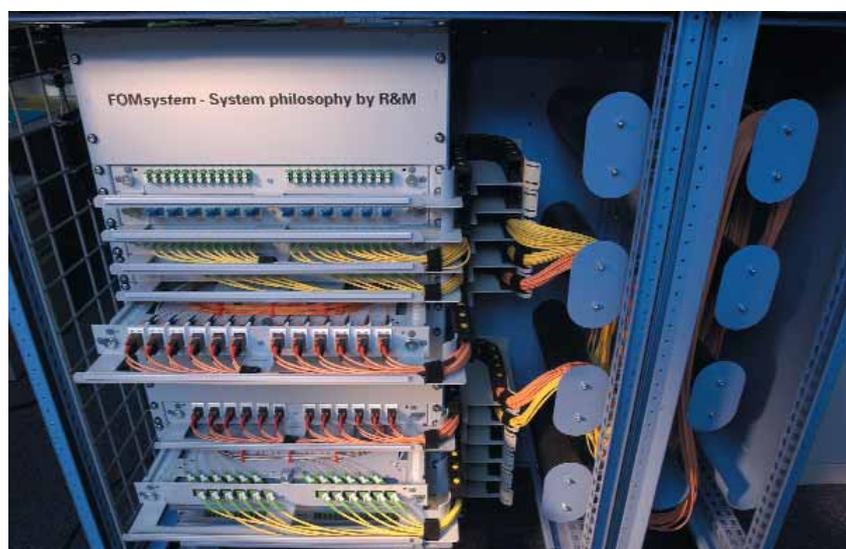
## Управление кабелями (кроссы и полки)

Избежать повреждения кабелей и значительно облегчить работы по инсталляции и эксплуатации кабельной системы позволяют монтажные конструктивы со специальными средствами для укладки и организации кабелей. К таким конструктивам относятся оптические кроссы компании R&M с системой FOM (Fiber Optic Management). Последняя гарантирует контролируемый радиус изгиба оптических кабелей (не более 40 мм), а также удобную организацию коммутационных шнуров в правой части шкафа. Изогнутые элементы шкафа направляют шнуры в зону их

хранения, причем шнуры надежно крепятся внутри направляющей вплоть до места индивидуального подключения разъема. Занимая небольшую площадь (900 x 400 мм), оптические кроссы R&M обеспечивают подключение до 960 волокон.

### Кросс с системой FOM

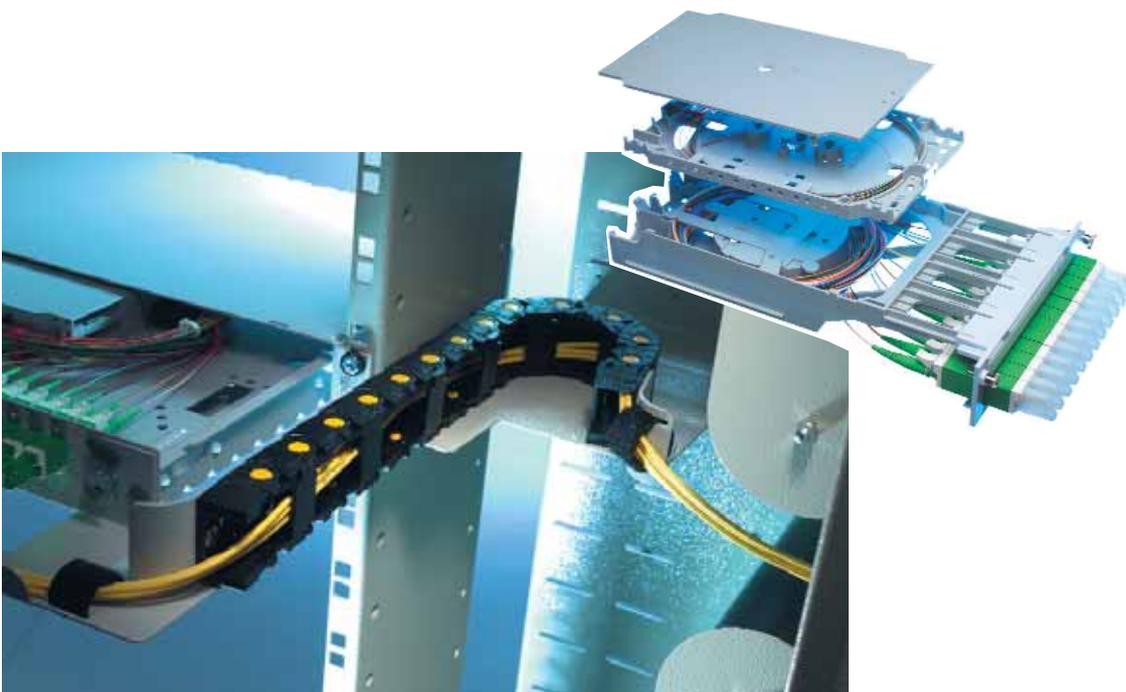
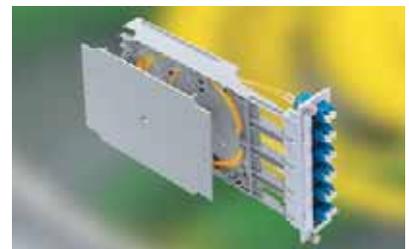
- Высокая емкость (до 960 волокон) при малой площади (900 x 400 мм)
- Контролируемый радиус изгиба – 40 мм
- Монтаж всех компонентов спереди
- Удобная организация коммутационных шнуров – в правой части
- Установка кроссов рядами или по схеме back-to-back



Для установки в кроссы FOM и другие монтажные конструктивы компания R&M предлагает широкий выбор оптических полок. Они выпускаются различных конструкций, со сплайс-модулями и без них, поддерживают разные типы адаптеров (E-2000, SC, FC, ST, E-2000 Compact, SCRJ, MTRJ). Полки гарантируют контроль радиуса изгиба оптического кабеля и обеспечивают удобство монтажа и идентификации элементов, также в них предусмотрены специальные зоны для хранения избытков кабеля.

## Модуль FiberModul – универсальная платформа для монтажа оптических соединений

- Корпус модуля со сплайс-кассетой или без нее
- Варианты под кабель с традиционной установкой разъемов и под претерминированные кабели
- Легко заменяемые передние пластины (пластик или металл)
- Контролируемый радиус изгиба – 35 мм



# Внешняя сеть

Внешняя сеть (OSP) делится на три основных участка:

- магистральный (feeder);
- распределительный (distribution);
- подключения (drop)

## Архитектура сети OSP

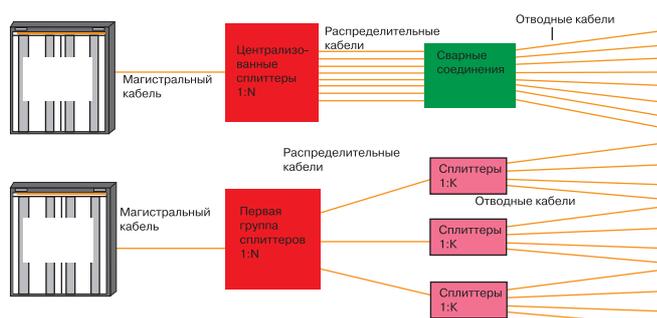
Существуют два основных типа архитектуры построения внешней сети – с централизованным и распределенным размещением сплиттеров. Последнюю схему часто называют каскадной.

Главное преимущество централизованной архитектуры – ее высокая гибкость: к любому выходу любого сплиттера через распределительную сеть можно подключить любого абонента. Это позволяет постепенно, по мере роста числа абонентов, добавлять сетевые элементы, а значит, экономить средства на начальном этапе. Представьте типовой шкаф, в который можно установить шесть сплиттеров 1:32, способных обслуживать 192 абонентских порта. Если к сети подключено только 30% от максимального (запланированного оператором) числа абонентов, значит, достаточно задействовать только два сплиттера. Третий сплиттер устанавливается толь-

ко тогда, когда на первых двух не останется свободных портов. Такое модульное наращивание ресурсов инфраструктуры означает также повышение эффективности использования портов оборудования OLT центрального узла. Важным преимуществом централизованной архитектуры является и более простой переход в будущем к системам WDM PON, в которых пропускная способность сети будет увеличена за счет добавления спектральных каналов.

При построении сети по каскадной схеме должны быть установлены сразу все сплиттеры, а оборудование OLT развернуто для обслуживания расчетного числа подключений. Связано это с тем, что в большинстве случаев неизвестно, в каком месте сети будет подключен следующий абонент, соответственно включение в работу портов сплиттеров будет носить вероятностный характер.

К преимуществам каскадной схемы обычно относят уменьше-



Централизованное и распределенное размещение сплиттеров

ние числа волокон в распределительной сети, прямым следствием чего является, в частности, снижение расходов на их сварку. Однако стоит заметить, что стоимость прокладки оптического кабеля (а это существенная статья расходов при построении любой инфраструктуры) не сильно зависит от числа волокон в нем, поэтому в этой части на экономию рассчитывать не приходится. А вот размеры блоков (например, муфт), в которых размещаются сплиттеры, при каскадной схеме построения сети могут быть серьезно уменьшены, что расширяет возможности при выборе места их размещения.

Необходимость установки довольно большого монтажного конструктива (шкафа) в месте централизованной установки сплиттеров в ряде случаев становится серьезным недостатком централизованной архитектуры. Например, в некоторых проектах сервис-провайдеры не имеют возможности устанавливать громоздкий уличный шкаф, в этом случае выход может быть найден в подземном или воз-

душном размещении компактных каскадных сплиттеров.

## Расчет оптического бюджета

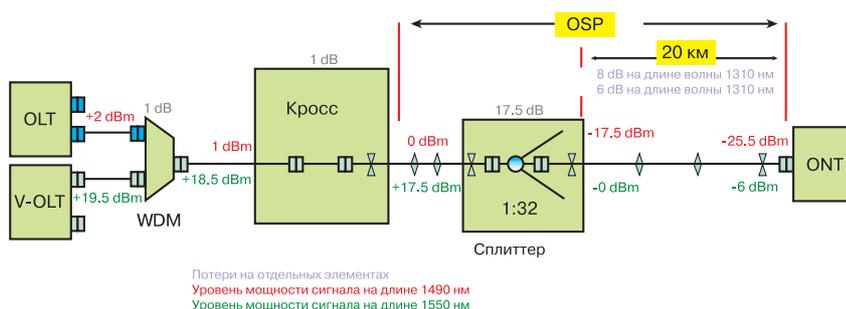
Расчет бюджета оптической линии – важная часть проектирования инфраструктуры сети PON. Обычно максимально допустимое затухание в сети GPON принимается равным 28 дБ. С учетом этого должны выбираться компоненты оптической инфраструктуры, включая коннекторы, сплиттеры, сварные соединения и т. п.

На рисунке приведен пример расчета бюджета оптической линии сети GPON. Основная часть оптической линии показана между сплиттером и устройством ONT; сделано это исключительно для упрощения расчетов, на самом деле магистральный участок обычно значительно длиннее распределительного участка. Также заметим, что потери на 20-км кабеле взяты для 1310 нм, поскольку на этой длине волны они чуть больше (примерно на 0,1 дБ), чем на длине вол-

ны 1490 нм. Большая часть потерь обычно происходит на сплиттерах, поскольку в них входная мощность делится между несколькими выходами. Потери на сплиттере зависят от его коэффициента деления и для сплиттера 1:2 равны примерно 3 дБ. При удвоении числа выходных портов потери увеличиваются примерно на 3 дБ; таким образом, разветвитель 1:32 имеет потери не менее 15 дБ. С учетом потерь на сварных и разъемных соединениях сплиттера мы приняли их равными 17,5 дБ.

Как видно, в нашем примере суммарные потери при передаче на длинах волн 1310/1490 нм составляют 27,5 дБ, а на длине волны 1550 нм (напомним, она используется для вещания ТВ-каналов) – 25,5 дБ. В случае если в сети не используется передача на длине 1550 нм и, соответственно, нет WDM-каплера, потери в линии на длинах волн 1310/1490 нм уменьшаются на 1 дБ.

В целом рекомендуется оставлять запас бюджета линии 1–1,5 дБ. Дело в том, что в процессе эксплуатации вполне возможно появление дополнительных сварных соединений (например, при ликвидации обрыва кабеля после аварии), ухудшение характеристик волокна из-за его старения, неблагоприятных окружающих факторов и по другим причинам.



Во внешней сети в местах соединения и отвода кабелей важно использовать блоки, надежно защищающие кабели, коннекторы и другие элементы инфраструктуры от негативного воздействия людей и животных, а также от ветра, влаги, пыли и т. п. Такие блоки выпускаются самых разных конструкций и характеристик, но логически их можно разделить на две большие группы: распределительные блоки (distribution terminal) и отводные терминалы (drop terminal).

## Распределительные блоки

Распределительные блоки устанавливаются на границе между магистральным и распределительным участком сети PON. В сети, построенной по централизованной архитектуре, такой блок обычно представляет собой уличный шкаф с оборудованием, обеспечивающим обслуживание сотен портов. В сетях с каскадной архитектурой такой блок вполне может быть выполнен в коробке меньшего размера или вообще в муфте, установленной под землей или на столбе.

На рисунке представлена типичная схема подключений в рас-

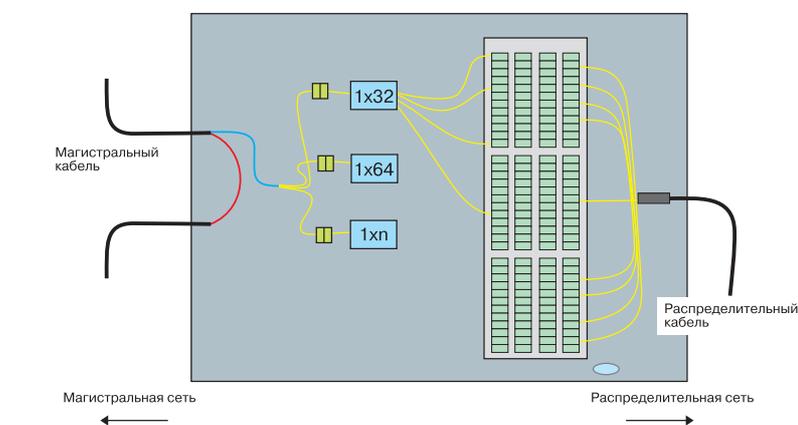


Схема подключений в распределительном блоке

пределительном блоке. В этом примере на магистрали используется модульный кабель, состоящий из нескольких пучков волокон (модулей), каждый из которых имеет собственную изоляцию и свободно располагается внутри кабеля. В месте установки распределительного блока в магистральном кабеле делается надрез, из него извлекается один модуль, волокна которого подключаются к сплиттерам (в данном случае показаны три сплиттера). С выхода сплиттеров волокна через зону коммутации подключаются к волокнам распределительного кабеля. В случае централизованной архитектуры эти волокна, соединяясь с волокнами абонентских кабелей

в отводном терминале, без какого-либо дополнительного деления приходят к портам устройств ONT. В каскадной схеме в отводном терминале тоже устанавливаются сплиттеры, которые делят сигнал еще один раз.

Конструкция распределительного шкафа в сети с централизованной архитектурой должна гарантировать удобный доступ к соединениям для их проверки, тестирования сети, реализации разного рода изменений и дополнения (например, при подключении новых абонентов). При использовании же каскадной схемы муфта, на базе которой реализуется распределительный блок, может быть герметично закрыта и убра-

на под землю. В этом случае повторный доступ к установленным в ней элементам потребует лишь в случае их повреждения или при необходимости подключения нового кабеля.

Муфты делятся на тупиковые (ввод оптического кабеля производится с одной стороны корпуса) и проходные (вводы кабеля – с разных сторон корпуса), кроме того, имеются универсальные конструкции, которые можно использовать в качестве и тупиковой муфты, и проходной. Как правило, муфты изготавливаются для ввода не менее трех кабелей, что позволяет использовать их и для простого соединения двух кабелей, и для организации разветвлений. Запасы длин волокон, а также их сростки размещаются в специальных кассетах, гарантирующих заданный радиус укладки. Конструкции многих муфт предусматривают размещение не только сварных сростков, но и механических соединителей, и стандартных разъемных соединителей (разъемов). Герметизация вводов оптического кабеля в муфту может обеспечиваться термоусаживаемыми трубками, специальными герметиками (гелями) и иными способами.

Компания R&M предлагает различные варианты распределительных шкафов и муфт. Отдельно следует упомянуть шкаф FiberCurb II, в котором могут быть установлены элементы как волоконно-оптической, так и медной инфраструктур.

## Шкаф FiberCurb II

- Надежная защита от несанкционированного доступа
- Высокая емкость: 120 оптических разъемов или 400 пар VS Compact на вертикаль
- Уникальная система направляющих защищает все волокна от вибрации
- Собранные на заводе модули обеспечивают полный доступ спереди
- Ограничение радиуса изгиба волокон (40 мм) входящих кабелей и коммутационных шнуров

## Муфта FTTH

- Идеально для сращивания кабелей и разветвления
- Сплайс-кассеты общей емкостью до 288 сростков
- Гибкие вводы с предустановленными термоусадочными трубками
- Степень защиты IP68
- Внутренняя комплектация заказывается отдельно



## Отводные терминалы

Отводные терминалы (drop terminal) устанавливаются на границе между распределительной сетью и кабелями, служащими непосредственно для подключения абонентов. Как правило, конструкции таких терминалов позволяют устанавливать в них несколько сплиттеров (например, 1:4 или 1:8), которые могут использоваться в каскадной схеме. Чем больше абонентов подключается к одному отводному терминалу, тем больше длина абонентских кабелей, что увеличивает расходы на их инсталляцию. Поэтому обычно число абонентов, обслуживаемых через один drop-терминал, ограничивают в пределах 6—10, оставляя несколько портов в резерве на будущее.

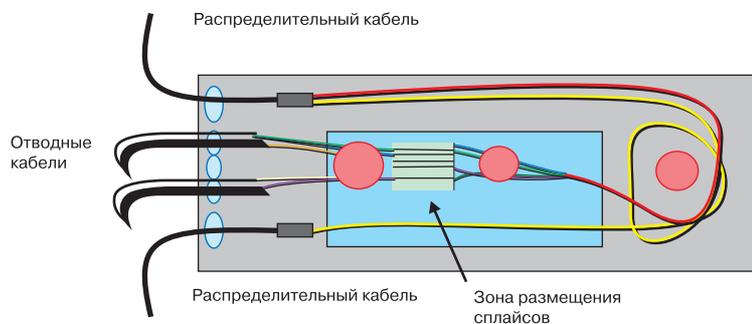


Схема подключения в отводном терминале

Отводные терминалы могут устанавливаться в различных местах, например на телеграфном столбе или под землей. Установка этих элементов на столбах облегчает доступ к ним и снижает требования к защите от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Понятно, что при подземной установке отводного терминала требуется

обеспечить его полную герметичность и высокую степень защиты от влаги, грызунов и т. п.

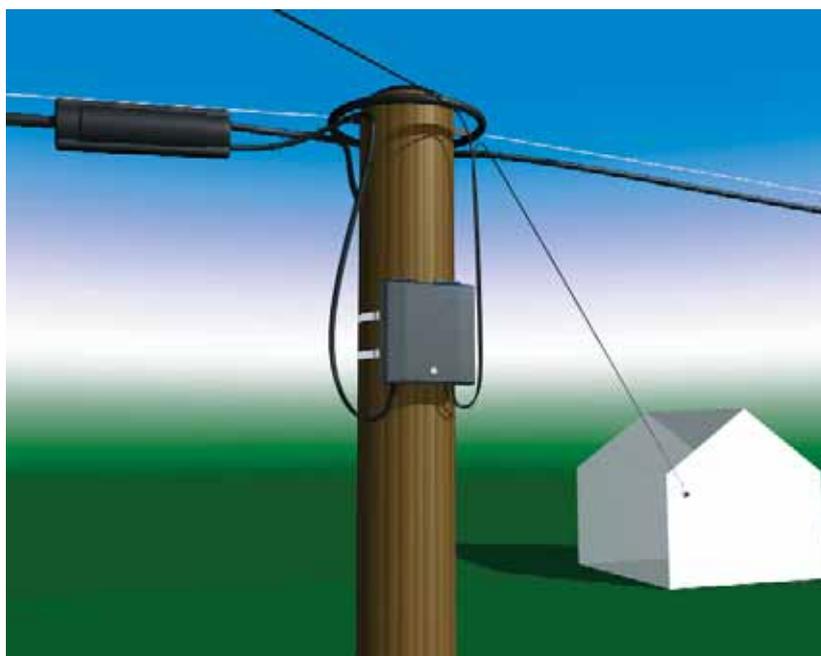
В качестве отводных терминалов могут использоваться уже рассмотренные выше муфты (только, естественно, меньшей емкости), а также небольшие распределительные коробки. Примером такой ко-



робки является изделие Venus FLA (Fiber LArge), входящее в семейство распределительных коробок Venus компании R&M. Коробка Venus FLA выполнена в крепкой герметичной конструкции и может эксплуатироваться в широком температурном диапазоне. Она позволяет устанавливать до 6 сплайс-кассет и до 12 разъемов (E-2000, SC, ST, FC). Степень защиты изделия – до уровня IP54. Специальный вариант коробки Venus FLA может вмещать сплиттер 1:16 и 24 адаптера для подключения разъемов.

## Распределительная коробка Venus FLA

- Служит для сращивания кабелей или установки до 12 разъемов (E-2000, SC, ST, FC)
- До 4 сплайс-кассет (вариант с замком) и до 6 сплайс-кассет (вариант без замка)
- Степень защиты: IP54 – вариант для сращивания кабелей, IP43 – для установки разъемов
- Запирание: навесной или внутренний замок



# Подключение

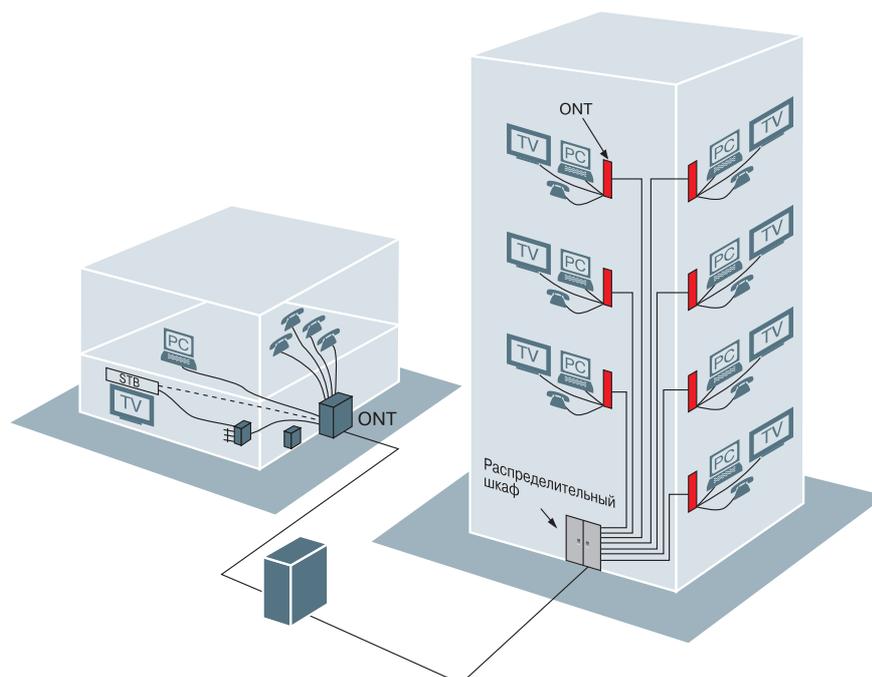
Значительная часть затрат при развертывании любой сети FTTP связана с непосредственным подключением абонента и активацией выбранного им сервиса. Отводные (drop) кабели обеспечивают соединение между отводным терминалом и домом или квартирой абонента. В сети PON такой кабель может служить для подключения одного коттеджа (жилого дома на одну семью), офиса или многоквартирного дома

Общей рекомендацией является использование сварки для подключения drop-кабеля в отводном терминале: сварное соединение в drop-терминале гарантирует надежное и высококачественное соединение на все время эксплуатации оптической сети. Однако существуют ситуации, когда выгоднее использовать претерминированные кабели, с помощью которых можно снизить стоимость инсталляции.

Использование в отводном терминале разъемных соединений, конечно, создает дополни-

тельную потенциальную точку отказа, но дает и свои преимущества. Так, например, разъемное соединение можно использовать для тестирования соединений, что особенно важно, когда нет доступа ко второму концу drop-кабеля (в месте установки устройства ONT). Кроме того, применение претерминированных кабелей позволяет максимально быстро осуществить подключения без необходимости выполнения сварных работ.

Подключение drop-кабеля на стороне абонента выполняется



Пример подключения к сети PON коттеджа на одну семью и многоквартирного дома

наиболее просто, когда оборудование ONT размещается снаружи дома. В этом случае самое сложное – подключить это оборудование к электропитанию и обеспечить качественное заземление. Заметим, что причины большинства жалоб абонентов связаны как раз с плохой инсталляцией и заземлением устройства ONT, а также с некачественным терминованием drop-кабеля.

Для подключения к сети PON коттеджа или дома на одну се-

тью можно использовать, например, малый бокс Venus на 4 разъема.

### **Малый бокс Venus**

- Коробка для сращивания волокон или установки разъемов
- Может быть установлено до 4 разъемов (E-2000, SC, LC)
- Степень защиты IP54 для сращивания волокон и IP43 для установки разъемов
- Запирание: навесной или встроенный замок



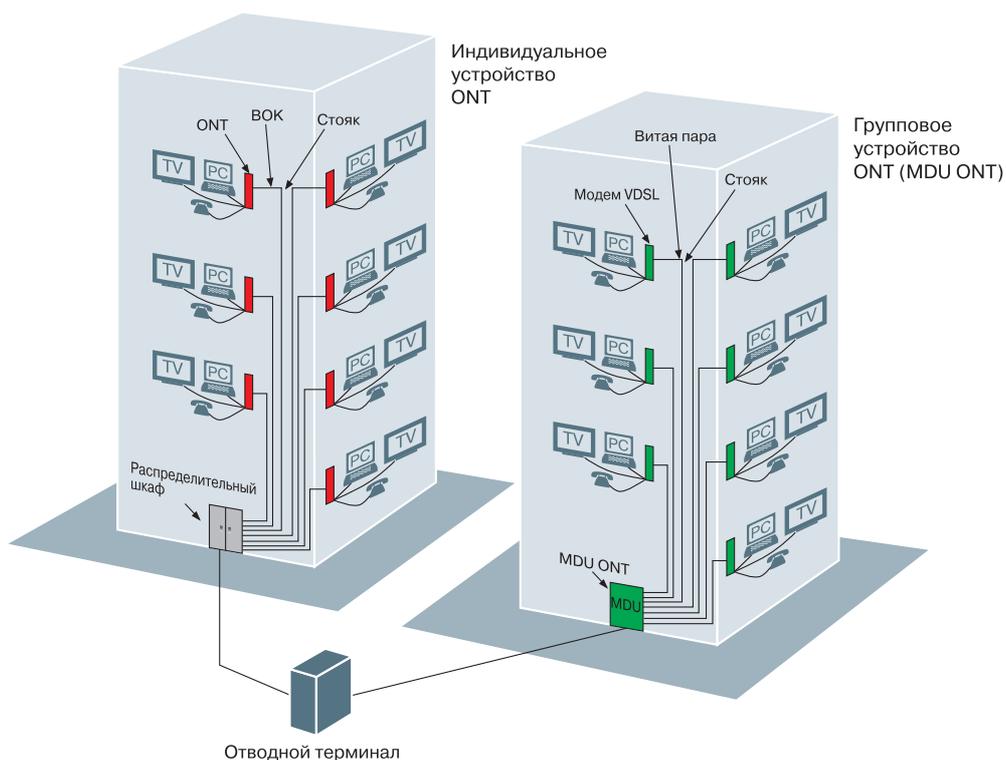
# Подключение

Подключение многоквартирных домов может существенно отличаться от подключения коттеджей. В частности, вполне возможно, что на многоквартирный дом оператору придется выделить не одно волокно, а несколько – для подключения большого числа устройств ONT или сплиттеров внутри здания. Во многих проектах внутри дома, например в подвальном помещении, устанавливают распределительный блок со сплиттерами, от которых

волокна уже протягивают в отдельные квартиры. Протяжка кабелей по стояку, как правило, не вызывает особых трудностей, однако они могут возникнуть в старых домах.

Если волокно заведено в каждую квартиру, то в них устанавливают индивидуальные устройства ONT, к которым по соответствующей проводке уже подключаются абонентские устройства – компьютеры, телефоны, телеви-

зионные приемники. Как вариант, возможна установка в подвальном помещении многопользовательского устройства MDU ONT, к которому по существующей в доме проводке подключаются абонентские устройства во всех квартирах. Для подключения телефонов может использоваться витая пара категории 3, для подключения компьютеров – ЛВС на основе витой пары категории 5, для подключения телевизоров – коаксиальный кабель.



Пример подключения к сети PON многоквартирного дома

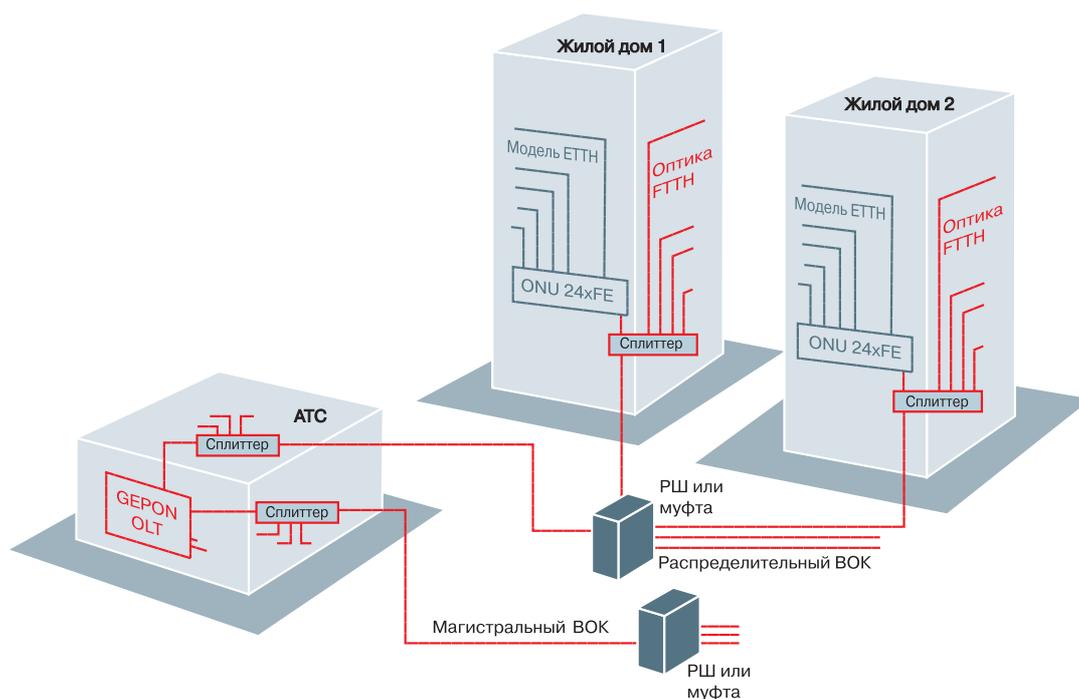
## Смешанный вариант (FTTH + ETTN)

На практике интерес может вызвать смешанное решение, сочетающее принципы FTTH и технологию подключения пользователя по сети Ethernet на основе медножильной проводки (ETTN). В этом случае к установленному в распределительном шкафу (внутри здания) сплиттеру подключаются как индивидуальные устройства ONT, так и многопользовательское устройство MDU ONT. К оборудованию MDU ONT

уже по меди (технология Ethernet) подсоединяются устройства абонентов.

При такой схеме построения кабельной инфраструктуры оператор может на начальном этапе проекта развивать широкополосные услуги с использованием менее дорогостоящего подключения по меди и оборудования Ethernet (ETTN). При повышении требований абонентов к пропускной способности сети они могут переводиться на оптику. Когда емкость установленного в здании

сплиттера будет заполнена, можно будет заменить его сплиттером с большим коэффициентом деления (например, сплиттер 1:8 заменить сплиттером 1:32). При этом можно будет одновременно переключить соответствующее волокно от сплиттера, установленного на узле связи, непосредственно на порт оборудования OLT. Наличие первого каскада сплиттеров (установленных в узле связи) позволит более эффективно использовать дорогостоящие ресурсы оборудования OLT на начальном этапе проекта.



Пример смешанного решения FTTH + ETTN

## Примеры подключения многоквартирного дома

В качестве примера рассмотрим два варианта подключения многоквартирного дома со следующими характеристиками:

- число этажей – 9,
- число подъездов – 2,
- число стояков в подъезде – до 2,
- число квартир на этаже – до 8 (по 4 квартиры на стояк),
- общее число квартир – до 144,
- максимальное расчетное число абонентов – 128.

Первый вариант предполагает разводку без применения этажных коробок. В этом случае для подключения абонентов используются 36-волоконные кабели STBB (один кабель на стояк) с волокном G.657, которое можно прокладывать в условиях неконтролируемого радиуса изгиба. Конструкция данного кабеля позволяет извлекать из него индивидуальные волокна на расстояние до 20 м, тем

самым обеспечивается возможность неразрывной прокладки волокна от распределительного шкафа до абонентской розетки.

Распределительный шкаф, рассчитанный на подключение до 128 абонентов, имеет модульную конструкцию и устанавливается в техническом помещении дома или в подвале. Абонентские волокна терминируются в оптических блоках Fibermodul разъемами SC (до 12 волокон в одном блоке). В шкаф устанавливаются два групповых сплиттера 1:4 для входящих линий и до восьми сплиттеров 1:16 с предустановленными разъемами SC для поэтапного подключения абонентов.

К преимуществам описанного варианта относится отсутствие необходимости установки распределительных коробок на этажах, что дает не только экономию средств, но и возможность подключения абонентов при отсутствии места для установки этих коробок. Кабель в стояке прокладывается одной строительной

длиной. Вместе с тем извлечение волокна из кабеля при подключении абонента и установка оптического разъема на абонентское окончание требует достаточно высокой квалификации техника. Облегчает его задачу то, что терминирование абонентского окончания может осуществляться разъемом SC полевого монтажа без применения специальных инструментов. Но все равно необходимость проведения указанных работ сказывается на скорости подключения новых абонентов: в данном случае она не слишком высока.

Второй вариант предполагает, что на каждом этаже будут установлены по две малогабаритные распределительные коробки (например, Venus FML) с 4 абонентскими разъемами SC. Размеры этих коробок позволяют установить их в существующие малогабаритные этажные отсеки для слаботочного оборудования. Абонентская розетка подключается гибким соединительным шнуром с волокном G.657 с ма-

лым допустимым радиусом изгиба. Разъемы SC на обеих сторонах шнура предустановлены в заводских условиях. Емкость одной распределительной коробки достаточна для подключения абонентов со смежных этажей при неравномерной плотности их распределения.

Распределительные коробки соединяются с распределительным шкафом 16-волоконными кабелями внутренней прокладки. Один кабель используется для подключения четырех коробок. Диаметр кабеля составляет 7 мм, что позволяет проложить два кабеля без затруднений даже в заполненном стояке. Оборудование распределительного шкафа аналогично первому варианту.

Оба предложенных варианта имеют высокую надежность, модульное построение и возможность масштабирования. Степень использования сплиттеров, надежность сети и ремонтпригодность также не зависят от выбора варианта.

Гибкость переключений и повторных подключений абонентов во втором варианте несколько превышает возможности, имеющиеся в первом варианте. Кроме того, второй вариант предъявляет меньшие требования к квалификации техников, что является основанием для снижения операционных расходов. К недостаткам второго варианта можно отнести лишь увеличение затухания в оптической линии в связи с установкой дополнительного разъема в распределительной коробке и незначительное удорожание проекта из-за установки таких коробок.

Существенным отличием второго варианта является наивысшая скорость развертывания сети (время на подключение одного абонента), что в некоторых случаях может быть определяющим при выборе технологии. Кроме того, этот вариант обеспечивает возможность повторного использования волокна после отключения абонента и тестирования линии без доступа в квартиру к абоненту.



Коробка Venus FML



Волоконно-оптическая розетка

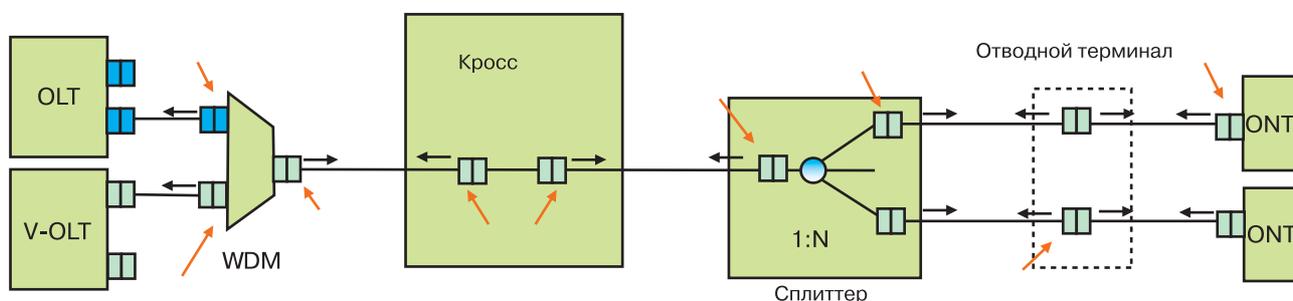
# Тестирование и выявление неисправностей

Тестирование – важная процедура для обеспечения должного функционирования любой технической системы. Чтобы гарантировать в сети PON передачу информации с заданной скоростью и минимальным уровнем битовых потерь, в первую очередь необходимо контролировать потери оптической мощности в канале, чтобы они укладывались в определенный бюджет. Также важно обеспечить низкий уровень обратных отражений, что особенно критично для аналоговых видеосигналов большой мощности (обратные отражения резко ухудшают качество передачи аналогового видео)

Для тестирования инфраструктуры PON важно обеспечить точки подключения соответствующей аппаратуры. Эти точки должны быть оборудованы разъемными коннекторами. Операторы часто стараются сэкономить на разъемах возле сплиттеров и сделать все на сварных соединениях. Это крайне неразумно, поскольку значительно ограничивает их возможности по поиску и устранению неисправностей. Ниже приведен пример структуры сети с указанием точек установки разъемных коннекторов, куда можно подключать приборы для тестирования и выявления неисправностей.

## Тестирование на этапе строительства

Тестирование сети PON следует начинать еще во время ее строительства. Это позволяет свести к минимуму временные и денежные затраты на выявление проблемных мест (например, загрязненных или поврежденных коннекторов), а главное – сделать это еще до ввода сети в эксплуатацию и начала предоставления сервисов. В идеальном случае необходимо проводить тестирование после строительства каждого сегмента сети PON. Например, после установки сплиттера желательно провести измерения между каждым его



Пример кабельной инфраструктуры PON.  
Красными стрелками показаны места возможного подключения тестеров

выходным портом и портами коммутационной панели кросса, установленного в центральном узле связи. После установки оконечных терминалов ONT проводятся измерения между их портами и выходными портами сплиттера. Еще раз подчеркнем, что для тестирования отдельных сегментов инфраструктуры PON в соответствующих местах должны быть установлены разъемные коннекторы.

Процедура тестирования обычно включает в себя:

- измерение возвратных потерь (они характеризуют уровень обратных отражений);
- измерение потерь оптической мощности;
- проверку состояния элементов на наличие проблемных мест и дефектов.

Поскольку данные по волокну передаются в обоих направлениях, величины потерь также необходимо измерять для каждого направления. Для этих тестов обычно используют измерители оптической мощности, или оптические тестеры. Современные тестеры позволяют сразу измерять и оптические потери, и возвратные потери.

Оптические возвратные потери (optical return loss, ORL) определяются как логарифм отношения отраженной мощности к мощности, поступающей на вход такого объекта, как, например, коннектор. Величина ORL выражается в дБ и имеет положительное значение: чем выше это значение, тем лучше (меньше отражение). При высоком уровне отраженной мощности необходимо предпринять специальные меры для ее снижения, например, провести чистку коннекторов.

Потери оптической мощности определяются как разница в уровне мощности на входе и выходе проверяемой системы. Общие потери оптической линии складываются из затухания сигнала в волокне, потерь, вносимых разъемными и сварными соединениями, сплиттерами и другими элементами. Суммарные потери должны укладываться в бюджет оптической линии, примерный расчет которого был приведен выше.

Для выявления и локализации проблемных мест и дефектов в оптической линии используют

оптический рефлектометр (OTDR). Если обычные оптические тестеры способны оценить лишь суммарные потери на изучаемом участке, этот прибор позволяет оценить состояние каждого отдельного элемента в линии. Работа OTDR основана на отправке мощного импульса излучения в волокно и измерении отраженного сигнала. Каждое событие в линии (например, сварное или разъемное соединение либо оптический дефект) 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 обнаружить такие дефекты, как несовпадение оптических осей, загрязнение коннекторов, чрезмерные изгибы волокна и угловые дефекты, обрывы волокна.

Процедуры измерения оптических потерь и возвратных потерь (ORL), а также снятия характеристик линии с использованием оптического рефлектометра подробно описаны в инструкциях поставщиков контрольно-измерительной аппаратуры.

# Тестирование и выявление неисправностей

## Подключение новых узлов

При подключении каждого нового оконечного терминала ONT необходимо проверить оптическую мощность прямого и обратного потоков на этой ветви. Эта может быть реализовано путем сквозного подключения оптического тестера перед терминалом ONT.

Мощность прямого потока на длинах волн 1490 и 1550 нм должна соответствовать минимальной чувствительности приемника

ONT. Обратный поток, передаваемый на длине волны 1310 нм, должен иметь мощность, достаточную для его интерпретации оборудованием OLT. Зная энергетический бюджет для наихудшего случая, легко определить мощность, которую должен иметь 1310-нм сигнал на выходе ONT.

## Поиск неисправностей

Поскольку большинство компонентов в сети PON являются пассивными, в основном проблемы могут возникать из-за

загрязнения, повреждения или плохого подключения коннекторов, а также из-за обрывов или чрезмерного изгиба волокна. Для обнаружения этих проблем используются уже упомянутые выше оптические тестеры и рефлектометры OTDR. Кроме того, для поиска неисправностей могут оказаться полезными визуальные рефлектометры, которые вводят в волокно яркое красное излучение и позволяют невооруженным глазом увидеть такие дефекты, как плохая сварка, обрыв или чрезмерный изгиб.



# Оптика – инвестиции в будущее

Подведение волокна все ближе к абоненту – очевидная тенденция современных телекоммуникаций. Чем шире полоса пропускания, тем больше привлекательных сервисов оператор может предложить своим клиентам, а значит, повысить их лояльность и свой доход. Еще несколько лет назад у операторов был определенный страх перед

оптикой – сложно, дорого, непонятно. Сейчас ситуация изменилась кардинально: представленные на рынке современные решения значительно упростили установку и обслуживание оптических инфраструктур. А инвестиции, вложенные в высокоскоростную оптическую сеть доступа, будут работать еще многие годы в будущем.

[www.rdm.com](http://www.rdm.com)

---

**Reichle & De-Massari AG**

Тел. +7(495) 766-68-89

[rus@rdm.com](mailto:rus@rdm.com)

[www.rdm.com](http://www.rdm.com)