

Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович
Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**
Тема: **Абонентский доступ по ВОЛС.**

Учебные вопросы:

1. Технологии НТТВ, устройство сетей и особенности оказания услуг.
2. Технологии PON, устройство сетей и особенности оказания услуг.
3. Доступ к услугам связи по выделенным ВОЛС, особенности.

Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.
2. Электронный ресурс <https://www.scribd.com/document/18050061/36-40-GPON-GIGABIT-PON> - GPON: СТАНДАРТЫ GIGABIT PON ЭЯЛЬ ШРАГА (EYAL SHRAGA)
3. Электронный ресурс <https://tech4u.pro/articles/50-opisanie-juniper-src-pe>

Основу современных операторских сетей абонентского доступа составляют сети, базирующиеся на оптической среде передачи сигналов.

При этом на выходе индивидуального или группового оборудования узла доступа (УД) оптический передатчик (OLT) преобразует электрический сигнал с использованием заданного вида модуляции оптической несущей в оптический сигнал, который при распространении по оптическому волокну (ОВ) подвергается ослаблению и искажению. На приемной стороне у абонента оборудование (ONT) осуществляет обратное преобразование оптического сигнала в электрический. Для модуляции оптической несущей информационным сигналом возможно использование частотной, фазовой, амплитудной модуляции, модуляции по интенсивности — излучаемой мощности, поляризационной модуляции. В подавляющем большинстве случаев на сетях абонентского доступа применяется модуляция по интенсивности оптического излучения. Мгновенное значение электрического поля монохроматического оптического излучения записывается в виде:

$$E(t) = E_{MAX} \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где E_{MAX} — амплитуда поля;

ω_0 и φ_0 — соответственно частота и фаза оптической несущей.

Мгновенное значение мощности (интенсивности) будет:

$$P_{\text{мгнов}} = E^2(t) = E_{MAX}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

а усреднение за период $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ позволяет выразить величину средней мощности

$P_{cp} = 0,5 E_{MAX}^2$, которая собственно и изменяется в соответствии с модулирующим сигналом.

Такой вид модуляции по мощности объясняется тем, что его можно применять в широком диапазоне частот для использования в оптических передатчиках на сравнительно дешевых полупроводниковых излучателях (светодиодах, лазерных диодах) простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового излучателя достаточно изменять ток инжекции (накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко реализуется на практике электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока.

Модуляция по мощности оптического излучения приводит и к простым решениям обратного преобразования оптического сигнала в электрический сигнал. Фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является прибором, выходной ток которого прямо пропорционален квадрату амплитуды оптического поля, то есть мощности падающего на фоточувствительную поверхность оптического сигнала.

Рассмотренный принцип приема оптического сигнала относится к методу прямого фотодетектирования (иначе некогерентный или энергетический прием). Есть и другие, более сложные методы приема, относящиеся к методам фотосмещения (это когерентный, гетеродинный и гомодинный методы приема).

Рассмотрим общие подходы к основам построения таких сетей, изображенным на рисунке 1.

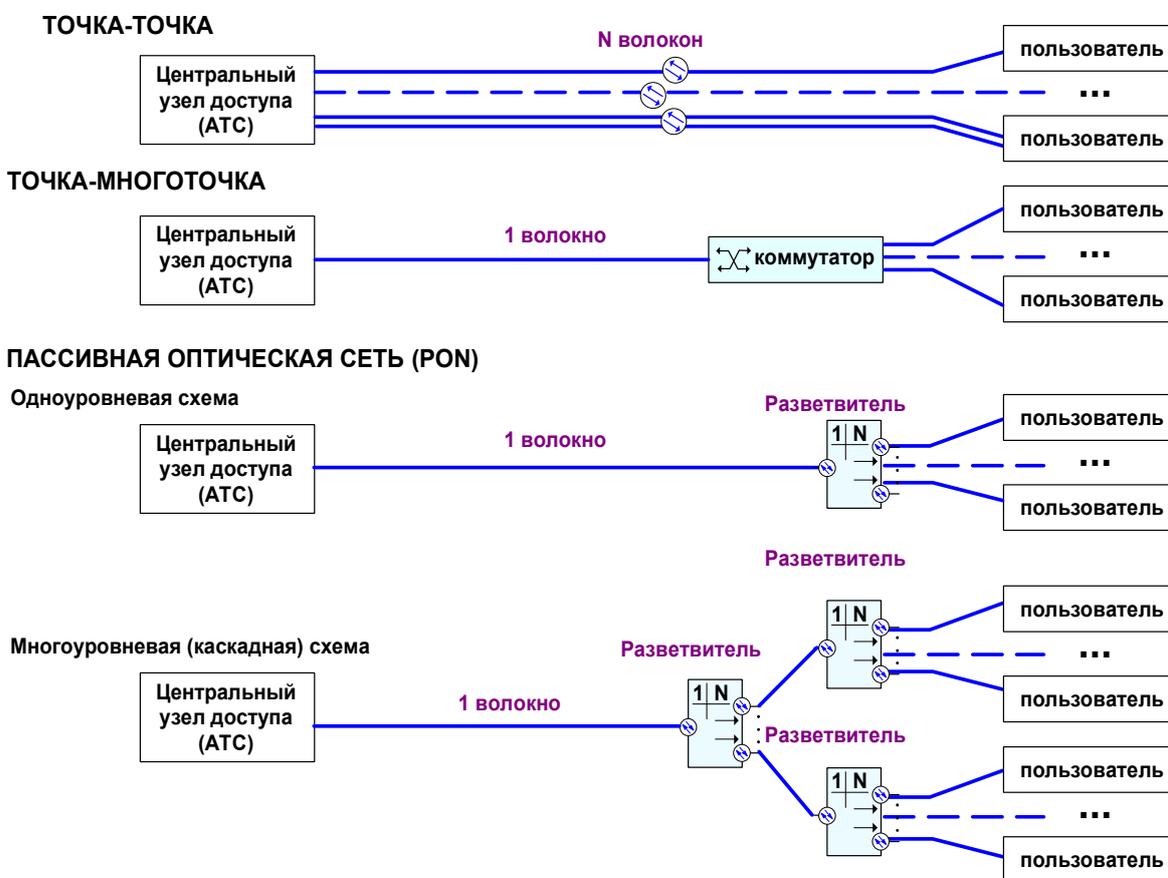


Рис. 1. Варианты организации доступа с использованием ВОЛС.

Сеть доступа может быть построена с использованием одной из основных топологий оптических сетей доступа:

- Точка-точка (P2P) — использование доступа к услугам связи — подключение оборудования абонента по выделенным волокнам (ОВ) оптического кабеля (ОК) связи;
- Точка-многоточка (P2MP) - организация варианта доступа к услугам связи по ОВ с использованием группового коммутатора — подключение оборудования абонента производится к абонентскому коммутатору по абонентским линиям типа последний дюйм (абонентская проводка), выполненным кабелем UTP (STP) или в случае большого расстояния оптическим кабелем (ОК) связи;
- Пассивная оптическая сеть (PON) с оптическими разветвителями, позволяющая привести ОВ в квартиру или офис абонента.

В дополнение к вариантам топологий применяется классификация сетей по видам архитектур — вариантов построения сетей доступа:

- FTTN (Fiber to the Node) – оптоволокно доходит до сетевого узла;
- FTTC (Fiber to the Curb) – оптоволокно доходит до микрорайона, квартала или группы домов;
- FTTB (Fiber to the Building) – оптоволокно достигает здания;
- FTTH (Fiber to the Home) – оптоволокно дотягивают до жилища, будь то квартира или отдельный коттедж.

Традиционно первые 2 вида архитектур используются для организации подключений узлов доступа, абонентских выносов, бизнес-центров и предприятий.

FTTB используется как основной вариант топологии точка-многоточка (P2MP).

FTTH есть не что иное, как PON.

Технологии FTTB, устройство сетей и особенности оказания услуг.

Предприятия-операторы связи на своих сетях доступа чаще всего используют следующую схему построения сети по технологии FTTB (Fiber To The Building — «Оптика в дом»): оптический кабель подводится к дому с подключением абонентского коммутатора, порты которого и распределяется по квартирам с помощью медного кабеля.

Сеть строится по принципам ЛВС на базе технологии Ethernet следующим способом: от портов маршрутизатора строится сеть агрегации доступа на коммутаторах сети агрегации доступа по звездной или кольцевой топологии, затем от порта коммутатора агрегации доступа строится сеть постагрегации доступа на коммутаторах постагрегации по звездной топологии, затем от порта коммутатора постагрегации доступа строится сеть доступа на коммутаторах доступа по звездной топологии и далее последний «дюйм» на витой паре до абонентского оборудования.

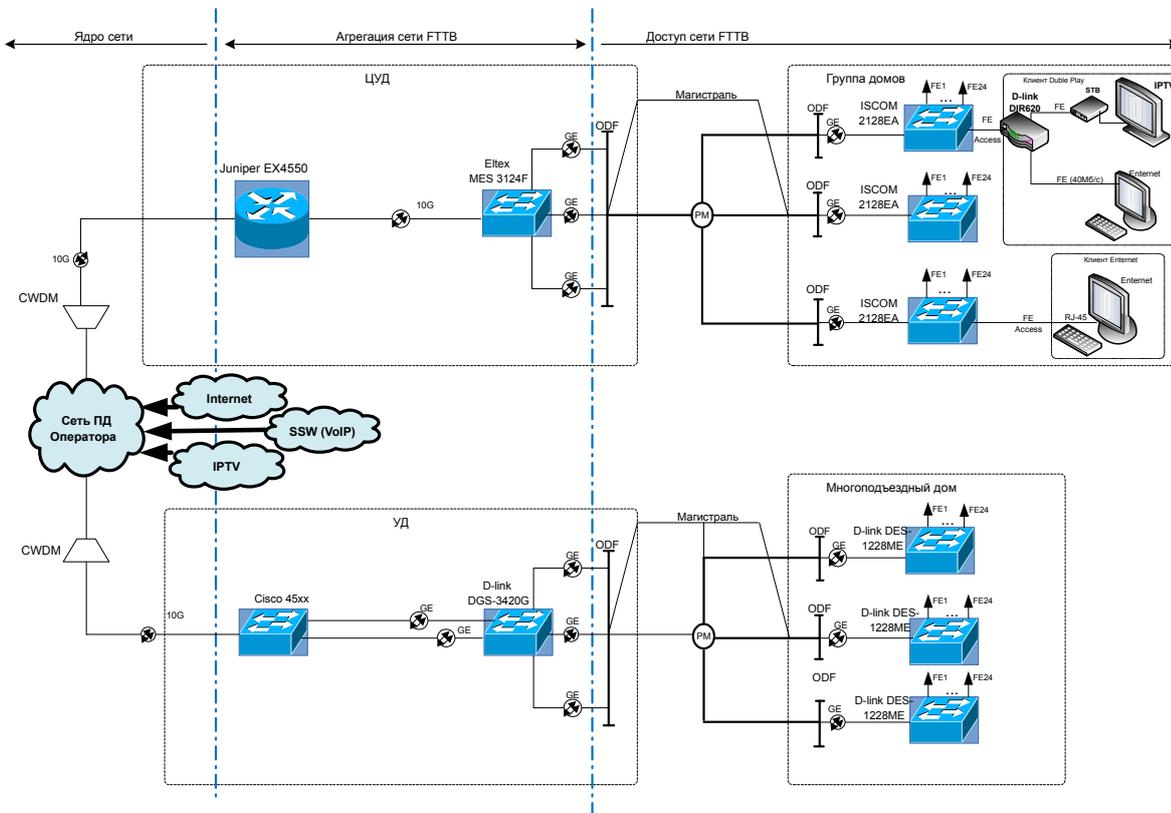


Рис. 2. Пример построения сети доступа на базе технологии FTTH.

В сетях доступа по технологии FTTH операторами в настоящее время оказывается ограниченный набор услуг, чаще Double Play – это концепция предоставления телекоммуникационных услуг:

- доступа к сети Интернет;
- интерактивного телевидения,

организуемых по единому подключению к гибридной HFC мультисервисной сети передачи данных.

Услуги телефонии на таких сетях обычно продолжают оказывать по традиционной схеме доступа к ТфОП, которая применялась ранее в этом муниципальном районе. Если же на УД имеется SMG или MGW, то возможно предоставление услуг Triple Play включая услугу VoIP.

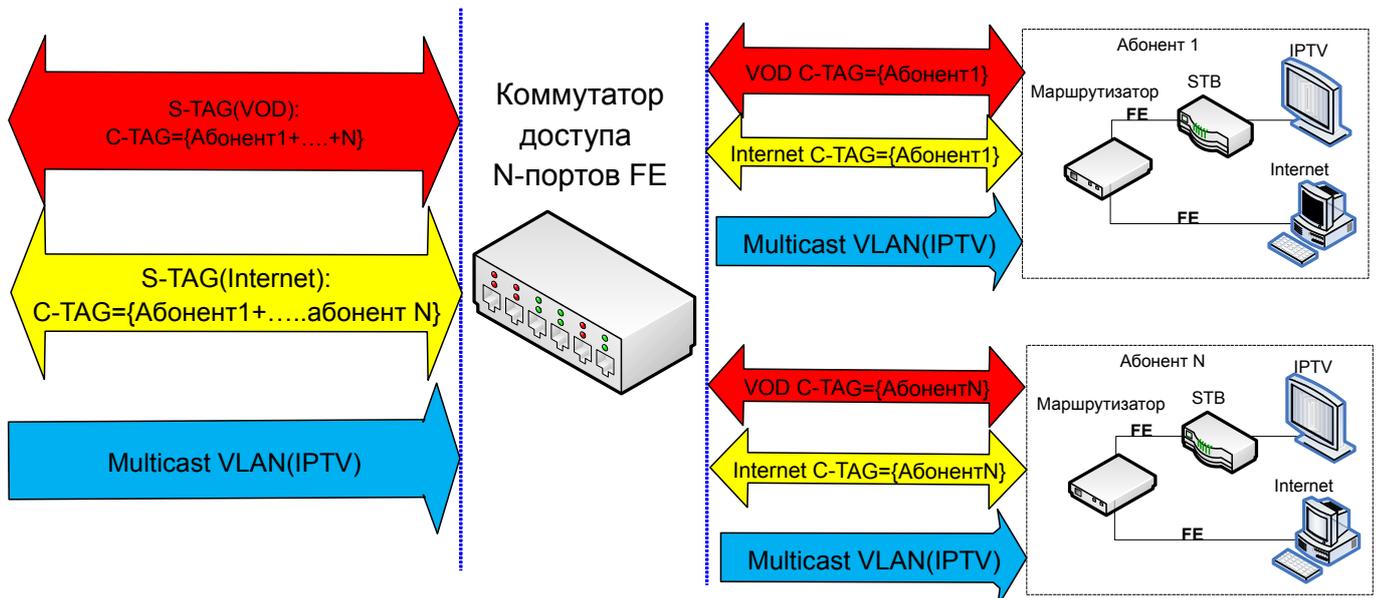


Рис. 3. Организация услуг Double Play в сетях доступа по технологии FTTH.

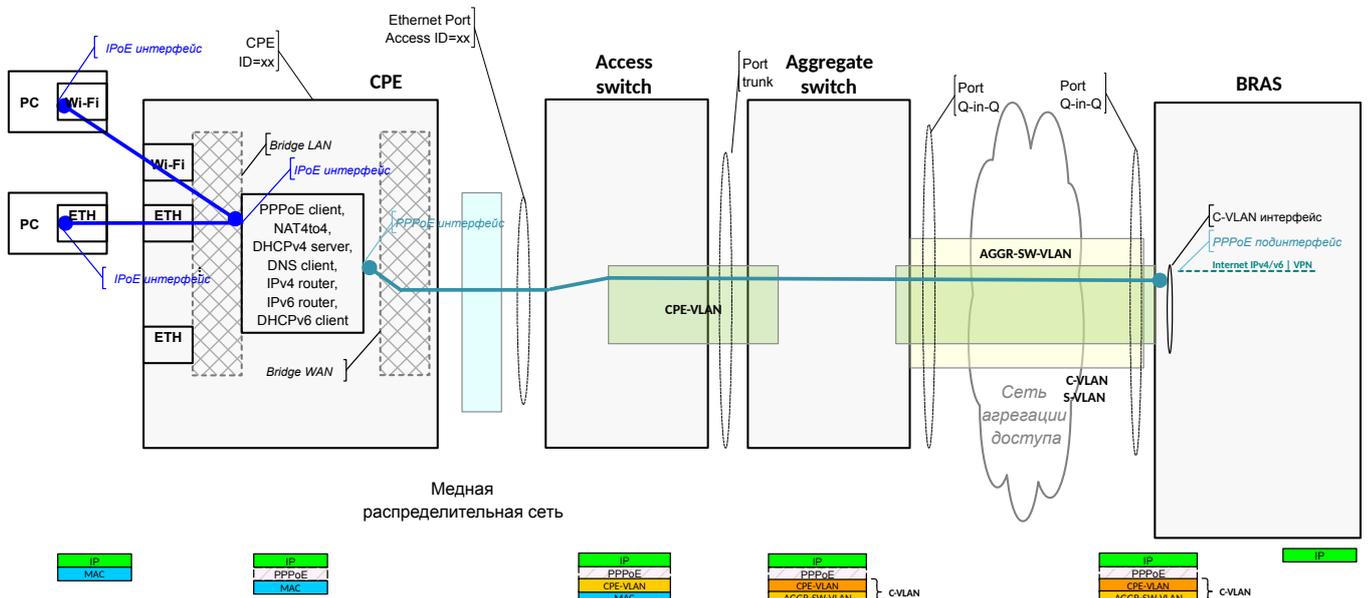


Рис. 4. Схема предоставления услуги широкополосного доступа в Интернет.

Сокращенные наименования на рисунках:

AGGR-SW – коммутатор агрегации,

ACCS-SW – коммутатор доступа,

CPE – абонентский маршрутизатор.

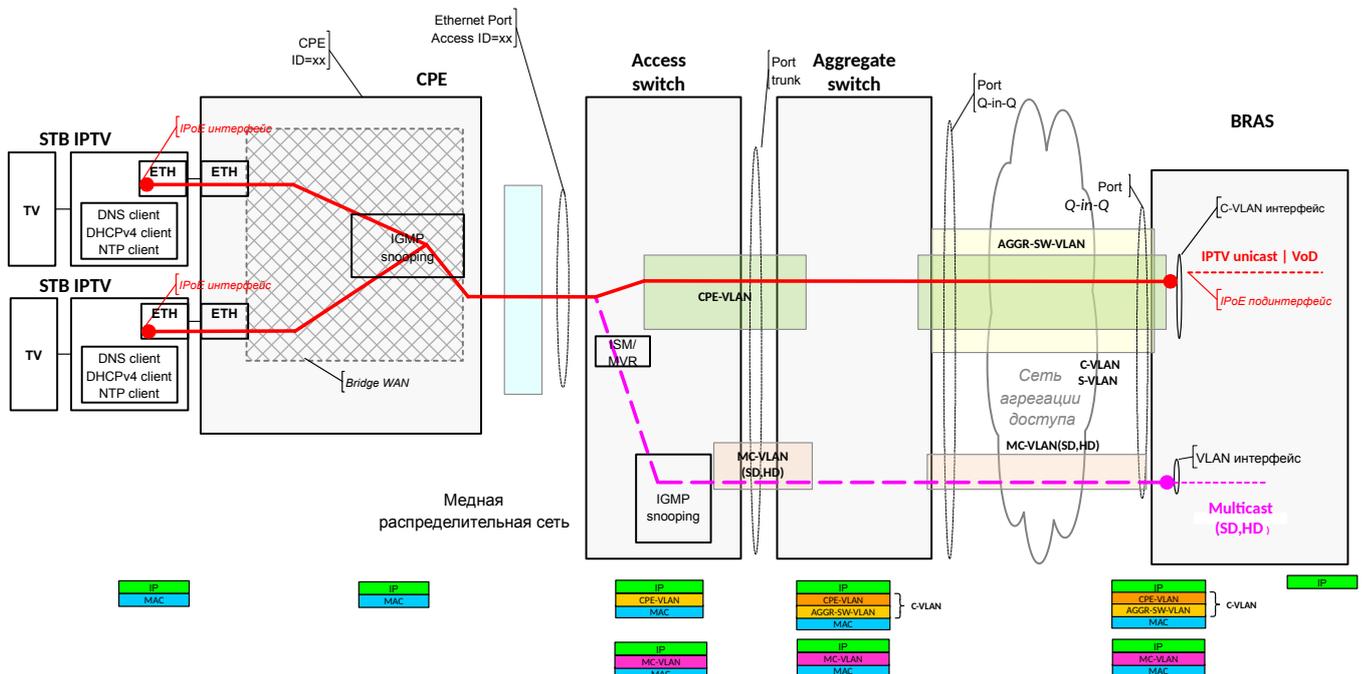


Рис. 5. Схема предоставления услуги IPTV.

Особенности настройки оборудования на сети доступа FTTB.

Абонентский маршрутизатор

Абонентский маршрутизатор обеспечивает подключение пользовательского оборудования (компьютеров, планшетов, IPTV приставок) к сети проводным или беспроводным методом. Абонентский маршрутизатор отвечает за организацию подключения к сети интернет по протоколу PPPoE, маршрутизацию пользовательского трафика, трансляцию IP адресов и, при необходимости, фильтрацию трафика. На CPE маршрутизаторе у абонента настраивается PPPoE

клиент, включается поддержка трансляции адресов, пересылки DNS запросов. Для подключения клиентского оборудования настраивается один или несколько LAN портов и Wi-Fi точка доступа.

Для предоставления услуги IPTV на абонентском маршрутизаторе выделяются порты для подключения IPTV приставок. На указанных портах отключается функции маршрутизации трафика и включается L2 bridging напрямую в WAN интерфейс. Кроме этого, на этих же портах активируется функционал IGMP snooping. Если абоненту предоставляется только одна услуга интернет, установка абонентского маршрутизатора не обязательна. Предоставление услуги широкополосного доступа в интернет может выполняться и без CPE, тогда PPPoE сессия устанавливается непосредственно с компьютера абонента.

IPoE сессия инициируется STB, установленным у абонента, BRAS перенаправляет запрос на DHCP сервер, который авторизует STB и передает дополнительные опции, необходимые для подключения STB к платформе IPTV.

Коммутатор доступа

Коммутатор доступа предназначен для непосредственного физического подключения абонентских компьютеров или CPE маршрутизаторов к сети. Место расположения коммутатора доступа выбирается с учетом того, чтобы длина кабельной трассы до помещения абонента не превышала 85м, оставшиеся 15м (максимальная длина Ethernet кабеля – 100м) предназначаются для организации кабельной трассы в помещении абонента.

Для идентификации пользователей и изоляции пользователей друг от друга используется модель «VLAN на абонента». Коммутатор доступа обеспечивает назначение на каждом порту подключения абонента отдельного VLAN-а. На коммутаторе доступа порт подключения абонента помещается в индивидуальный CPE-VLAN. CPE-VLAN уникален в рамках всех коммутаторов доступа, подключенных к одному коммутатору агрегации.

На коммутаторе доступа настраивается функционал IGMP snooping и MVR для предоставления услуг IPTV.

Коммутатор агрегации

Коммутатор агрегации является промежуточным узлом между сетью агрегации доступа и коммутаторами доступа. К коммутатору агрегации подключается до нескольких десятков коммутаторов доступа.

Типовое подключение коммутаторов доступа к коммутатору агрегации организуется по оптическим линиям связи.

На каждом порту коммутатора агрегации разрешаются только те VLAN-ы, которые используются на соответствующем коммутаторе доступа.

Коммутатор агрегации добавляет внешний AGGR-SW-VLAN и отдает трафик через сеть агрегации доступа на BRAS.

На BRAS-е для каждого C-VLAN интерфейса (пары AGGR-SW-VLAN и CPE-VLAN) включается поддержка PPPoE.

PPPoE сессия инициируется на CPE абонента, прозрачно (с добавлением соответствующих VLAN-ов) передается до BRAS-а, где выполняется ее обработка.

BRAS взаимодействует с БД Radius и SAN (Juniper SRC-PE) для аутентификации и авторизации пользовательской сессии, назначает IP-адреса, выполняет ограничение скорости в рамках сессий и производит их учет.

Технологии PON, устройство сетей и особенности оказания услуг.

Сеть абонентского доступа по технологии FTTH/PON строится исходя из ситуационного плана муниципального образования в зоне охвата узла доступа.

При проведении ситуационного планирования и построении сети используют следующие определения:

- Облако – здания на территории города, охваченные сетью PON от одного опорного узла.
- Кластер – элемент облака, состоящий из группы зданий, охватываемых одним связанным набором линейно-кабельных сооружений древовидной структуры с корнем на опорном узле. В состав кластера входят магистральная волоконно-оптическая сеть, представляющая собой совокупность волоконно-оптических кабелей, организованных по топологии “дерево” и ДРС (домовая распределительная сеть) сетей PON во всех зданиях кластера. Количество зданий, входящих в кластер определяется числом волокон корневого кабеля ВОЛС, идущего от опорного узла.
- Опорный узел – УД городской или муниципальной сети, на котором установлены коммутаторы агрегации/концентрации FTTH или PON (GPON).
- Корневой кабель ВОЛС – участок магистрального кабеля от оптического кросса УД, до первой разветвительной муфты в кабельной канализации. Количество волокон в корневом кабеле должно составлять 96 ОВ, в особых случаях, допускается применение кабеля с числом волокон до 144.
- Магистральные волокна – волокна магистральной ВОЛС от оптического кросса опорного узла до сплиттера ДРС (ОРЩ).

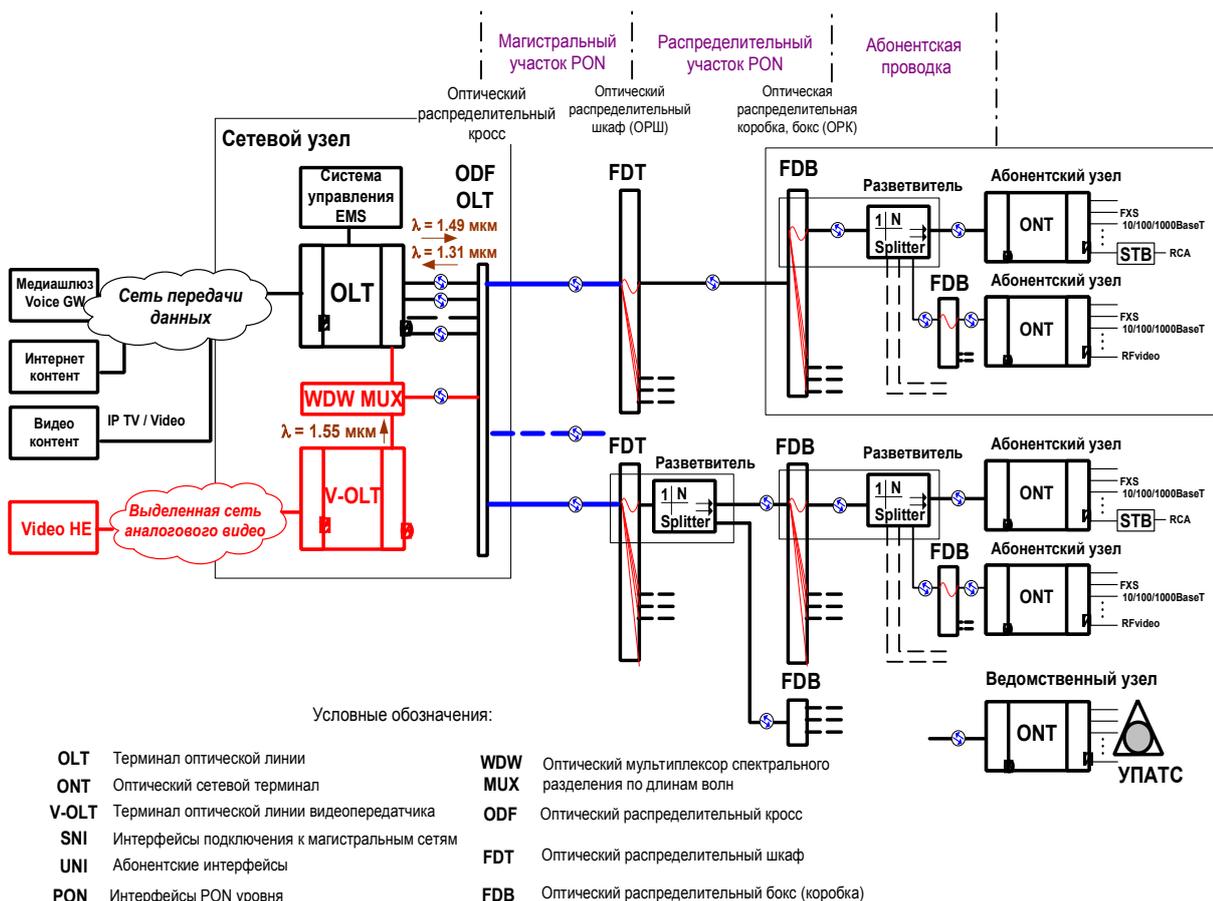


Рис. 6. Типовая обобщенная схема построения сети абонентского доступа по технологии FTTH/PON.

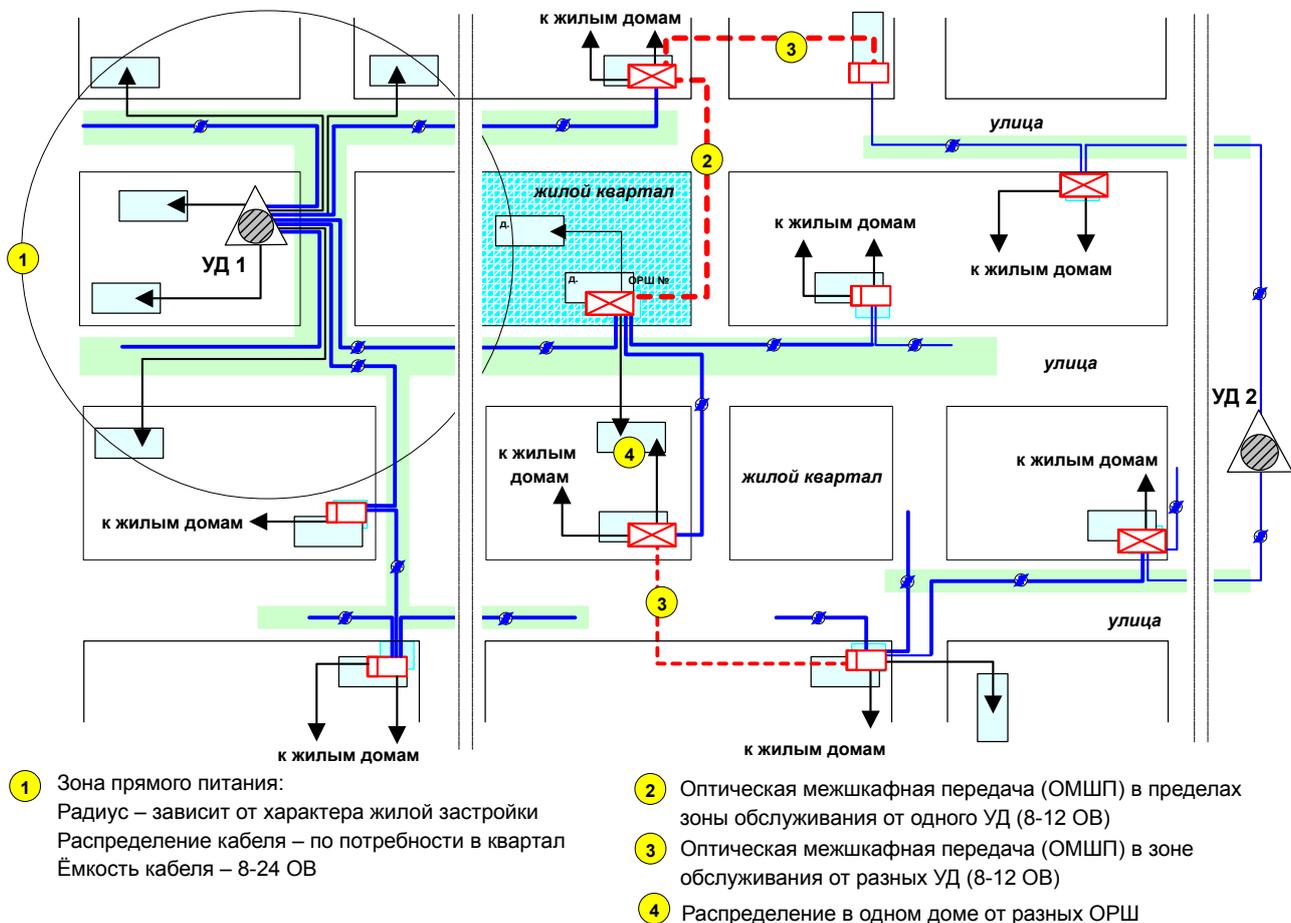


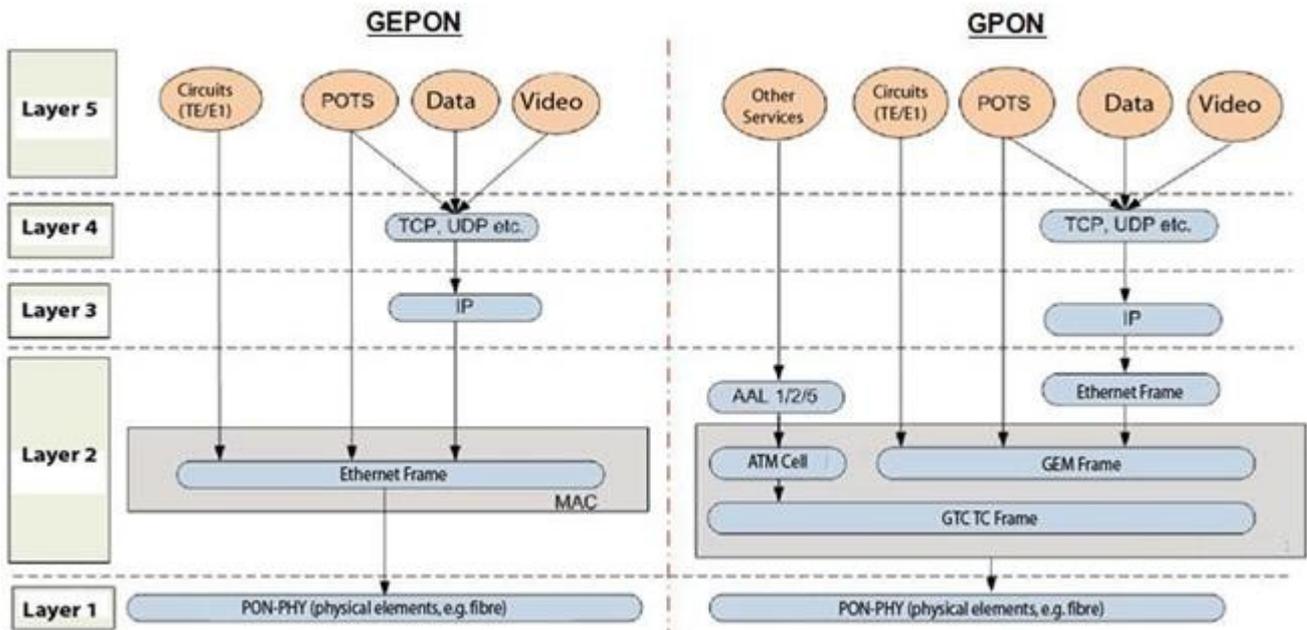
Рис. 7. Типовая схема построения магистрального участка PON.

В классе гигабитных пассивных оптических сетей, есть две ключевые технологии – **GPON** и **GPON**.

Первая из них – технология GPON, которая передает фреймы Ethernet в оптической среде. Эта технология описана в документе IEEE 802.3ah, выпущенном более десяти лет назад. В этой спецификации для передачи данных используются фреймы Ethernet, что позволяет достигать скоростей до 1 Гбит/с в обоих направлениях – использование избыточного линейного кода 8B/10B («чистая» полоса меньше на ~20%). Топологическая структура сети GPON может быть любой: шина, звезда, их комбинация и, в некоторых случаях кольцо для резервирования, что реализуется с помощью автоматических оптических переключателей. В числе достоинств данной технологии можно отметить невысокую стоимость решений, созданных на ее основе.

Более совершенный стандарт Gigabit PON (GPON) G.984 был принят ITU-T в 2005 году. Он основан на использовании специального протокола, который, в свою очередь, использует стандарты SDH. Технология позволяет транслировать данные в соотношении симметричной и асимметричной скорости до 2,5 Гбит/с - использование линейного кода NRZ без избыточности дает «реальные» 2.5G. Преимущества GPON включают встроенные механизмы для обеспечения QoS для передачи мультимедиа.

GEPON vs. GPON



Example of other services: IP over ATM, Ethernet over ATM, Switched megabit data service, LAN emulation, T1/E1 and x64 kps emulation, Voice over ATM

Рис. 8. Физический-1, канальный-2, сетевой-3, транспортный-4 и остальные-5-сеансовый, представительский и прикладной уровни модели OSI (ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99) гигабитных вариантов технологий PON.

GEPON

Рассмотрим формат пакета сети GEPON. Практически они являются стандартными пакетами Ethernet со специфическим мультикаст-адресом места назначения и кодом EtherType. Смотри рисунки параграфа.

Адрес назначения	Адрес отправителя	Тип 8809	Подтип 03	Флаги	Код	Код	CRC	
6	6	2	1	1	1	42-1496	4	
Информация OAMPDU					Код 00	Локаль. инфо TLV	Удален. инфо TLV
OAMPDU события					Код 01	Посл. #	Link event TLV
OAMPDU запроса					Код 02	Перем. дескриптор (ветвь&лист)	
OAMPDU отклика					Код 03	Перем. контейнер (ветвь, лист, ширина, значение)		...
OAMPDU управления					Код 04	Команда обрат. связи		
Сецифич. OAMPDU					Код FE	24-бит OUI	

Рис. 9. Формат пакета GEPON.

Коды мультикаст-адреса назначения и EtherType определяют, что это кадр медленного протокола. Стандарт 802.3 определяет несколько медленных протоколов;

одним из них является LACP (Link Aggregation Control Protocol – протокол контроля агрегации каналов). Протоколы задаются кодом подтипа протокола, значение 3 выделено для OAM (Operations Administration and Maintenance). Использование протокольного MAC-адреса гарантирует корректную интерпретацию OAMPDU (PDU - Protocol Data Unit - поля данных) подуровнем MAC. Большая часть информации OAMPDU передается в формате TLV (type-length-value). Первый октет (или байт) указывает на тип данных. Этот код в программах обозначается переменной и определяет в клиенте OAM то, как следует декодировать данные. Следующий октет содержит длину информации. Этот код обычно используется, чтобы обойти массив данных, когда тип этой информации не может быть интерпретирован клиентом OAM. Последующие октеты представляют собственно информацию.

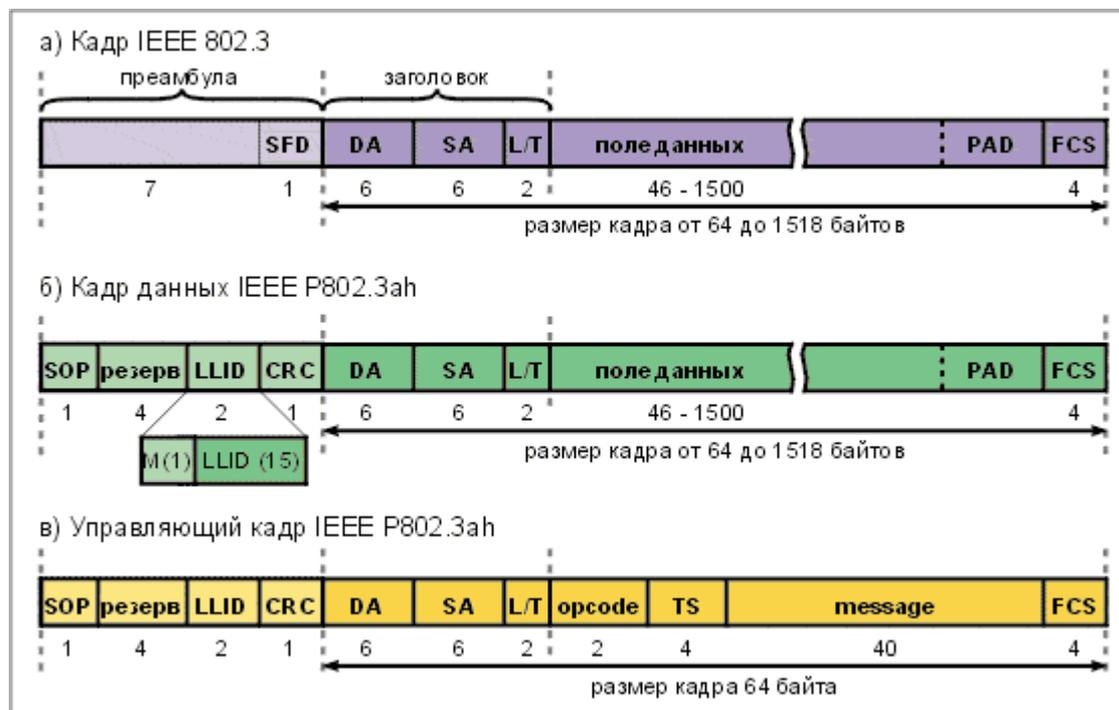


Рис. 10. Форматы кадров Ethernet и GEPON.

При прохождении кадров Ethernet через сеть GEPON не происходит их фрагментации. Преамбула стандартного кадра Ethernet, см. рисунки, модифицируется добавлением нескольких служебных полей:

- SOP (start of packet) – поле 1 байт, указывает на начало кадра;
- Резервное поле, 4 байта;
- LLID (logical link identifier) – поле 2 байта, указывает индивидуальный идентификатор узла GEPON. LLID требуется для эмуляции соединений "точка-точка" и "точка-многоточка" в сети GEPON. Первый бит поля указывает режим вещания кадра ("unicast" или "multicast"). Остальные 15 бит содержат собственно индивидуальный адрес узла GEPON;
- CRC (circle redundancy check) – поле 1 байт, контрольная сумма по преамбуле.

То есть при прохождении кадра через сеть GEPON навешивается GEPON-метка. На выходе кадра из сети GEPON - метка убирается. OLT модифицирует преамбулу каждого исходящего в дерево PON кадра, а именно в преамбулу добавляется специальный тег LLID. Этот тег извлекается соответствующим подуровнем на ONT, где происходит восстановление преамбулы. Узел ONT в нормальном режиме работы, т.е. когда уже зарегистрирован, обрабатывает только те

кадры, в преамбуле которых идентификатор LLID, который совпадает с собственным LLID.

Остальные поля кадра GEAPON совпадают с полями стандартного кадра Ethernet:

- DA (destination address) – поле 6 байт, указатель MAC-адреса станции назначения. Это может быть физический адрес (unicast), групповой адрес (multicast) или широковещательный адрес (broadcast);
- SA (source address) – поле 6 байт, указатель MAC-адреса станции отправителя;
- L/T (length/type) – поле 2 байта, содержит информацию о длине или типе кадра;
- Поле данных, переменной длины;
- Pad (наполнитель) – поле используется для дополнения кадра до минимального размера;
- FCS (frame check sequence) – поле 4 байта, контрольная последовательность кадра, в котором указывается контрольная сумма, вычисленная с использованием циклического избыточного кода.

Внутри сети GEAPON кроме кадров данных передаются и служебные кадры (сообщения) (рис. 10-в). Все они имеют фиксированную длину 64 байта. Преамбула и адресные поля управляющего кадра и кадра данных GEAPON аналогичны. Остальные поля управляющего кадра несут следующую информацию:

- L/T – поле 2 байта, для управляющего кадра поле содержит значение 0x8809, именно по этому полю узел GEAPON отличает управляющий кадр от кадра данных;
- opcode (optional code) – поле 2 байта, уточняет тип управляющего кадра, существуют две категории управляющих кадров, отличающиеся значением этого поля - сообщения GATE, которые выдает OLT, и сообщения REPORT, которые выдает ONT;
- TS (time stamp) – поле 4 байта, содержит временную метку отправителя message – поле 40 байт, собственно в этом поле содержится служебная информация, необходимая для работы протокола MPCP.

Протокол управления многоточечным обменом MPCP - Multi-point Control Protocol.

Для присвоения временных доменов с помощью OLT, группой IEEE 802.3ah был разработан протокол MPCP. Этот протокол основан на двух сообщениях Ethernet: GATE и REPORT. Сообщение GATE посылается от OLT к ONU и используется для присвоения временного домена. Сообщение REPORT используется ONU для информирования OLT о своем текущем состоянии (заполненность буфера и т.д.), чтобы принимать правильные решения о выделении временного домена. Как GATE, так и REPORT-сообщения являются кадрами управления MAC.

Существуют два режима работы MPCP - автодетектирование (инициализация) и обычная работа. Режим автодетектирования используется для детектирования вновь подключенных ONU и определения RTT и MAC-адреса этих ONU. Нормальный режим используется для присвоения временных доменов всем инициализируемым ONU. Так как в инициализации могут нуждаться более одного ONU одновременно, автодетектирование является процедурой, предполагающей конкуренцию.

На верхнем уровне это осуществляется следующим образом:

- OLT выделяет стартовый временной домен, интервал времени, когда неинициализированному ONU разрешено осуществить передачу. Длительность этого домена инициализации должна быть, по крайней мере,

равна $\langle \text{transmission size} \rangle + \langle \text{maximum round-trip time} \rangle - \langle \text{minimum round-trip time} \rangle$, где $\langle \text{transmission size} \rangle$ равно размеру окна передачи (transmission window), которое инициализируемое ONU может использовать;

- OLT посылает инициализирующее сообщение GATE, которое уведомляет о начале инициализационного временного домена и о его протяженности, при передаче этого сообщения на более высокий протокольный MAC-уровень, MPCP присвоит ему временную метку, сопряженную с его локальным временем;
- когда неинициализированные ONU откликнутся на сообщение инициализации GATE, при его получении, ONU установит местное время в соответствии с полученной с GATE временной меткой;
- далее как только локальные часы, размещенные в ONU указывают на начало времени инициализации, ONU передает свое сообщение REPORT инициализации - сообщение REPORT содержит адрес ONU и временную метку, характеризующую местное время ONU, когда было послано сообщение REPORT;
- когда OLT получает REPORT от неинициализированного ONU, он определяет его MAC-адрес и RTT, RTT для ONU равно разности времен получения сообщения REPORT, полученного OLT и временной метки, содержащейся в REPORT — см. рисунок.

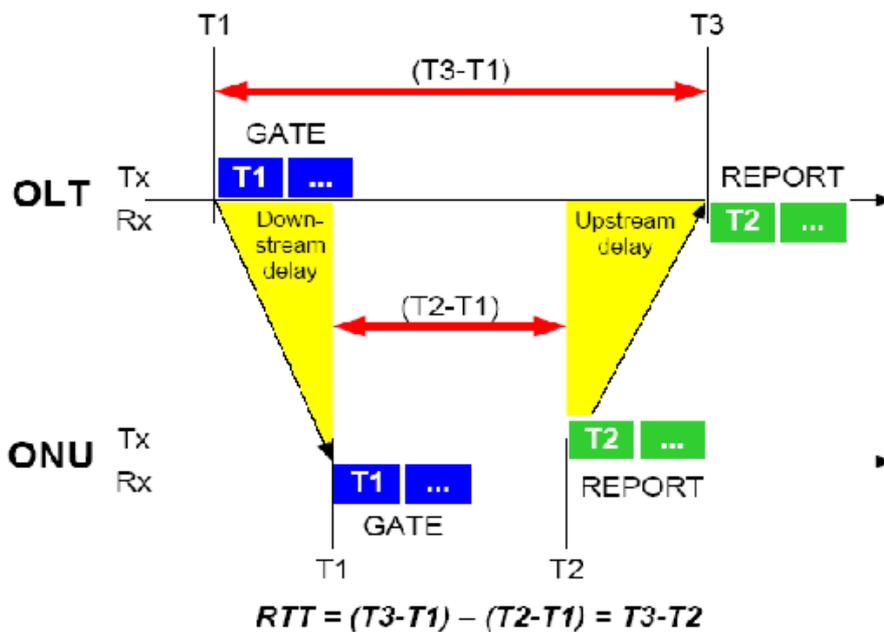


Рис. 11. Измерение временного интервала и назначение временного домена RTT в GPON.

Так как несколько неинициализированных ONU могут откликнуться на одно и то же сообщение GATE, сообщения REPORT могут сталкиваться. В этом случае ONU, чьи REPORT столкнулись - не получают временного домена. Если ONU не получит временной домен в пределах интервала таймаута, он будет знать, что произошло столкновение, и попытается повторить инициализацию, пропустив случайное число инициализационных сообщений GATE. При повторных столкновениях псевдослучайная выдержка удваивается.

GPON

G.984.1 — представлена архитектура, основные эксплуатационные характеристики и пропускная способность.

G.984.2 — спецификация физического уровня сети GPON, зависящей от среды передачи — PMD. GPON PMD определен с использованием методов и соглашений, что и SDH/SONET и за основу взята база SDH с присущими уровнями и тактовыми частотами.

ITU-T Рекомендации G.984.2 + G.984.2 Amd 1 + G.984.2 Amd 2.

Таблица 1. Характеристики GPON Интерфейса

Характеристики	Единица измерения	Интерфейс В+	Интерфейс С+
Передача		OLT Tx	OLT Tx
Номинальная скорость передачи данных	Мбит/с	2488.32	2488.32
Рабочая длина волны	нм	1480-1500	1480-1500
Код передачи	-	Зашифрованный NRZ	Зашифрованный NRZ
Минимальное затухание ODN	дБ	> 32	> 32
Значение выходной мощности (мин.)	дБм	+1.5	+3
Значение выходной мощности (макс.)	дБм	+5	+7
Коэффициент затухания условной реакции	дБ	>8.2	>8.2
Допустимое значение мощности падающего луча для Tx	дБ	> -15	> -15
SLM лазер – максимальная ширина	нм	1	1
Одномодовый лазер - минимальная SMSR	дБ	30	30
Прием		OLT Rx	OLT Rx
Скорость получения	Мбит/с	1244	1244
Принимающая длины волны	нм	1290-1360	1290-1360
Максимальный коэффициент отражения оборудования, измеренный в длине волны Rx	дБ	< -20	< -20
Коэффициент ошибок	-	< -10 ⁻¹⁰	< -10 ⁻¹⁰
Минимальная чувствительность	дБм	-27	-32**
Минимальная перезагрузка	дБм	-8	-12**
Потеря мощности входящего/оптического сигнала	дБм	0.5	1
Защита от последовательных идентичных цифр	бит	>72	>72
Допустимое значение отражения оптической мощности	дБ	<10	<10
Бюджет линий			
Минимальные оптические потери на 1310 нм, 1490 нм	дБ	13	17
Максимальные оптические потери на 1310 нм, 1490 нм	дБ	28	32

Максимальная длина волокна	км	60
----------------------------	----	----

**OLT RX= -12 ~-32 дБм (Для увеличения чувствительности OLT предполагается использование дополнительных RS(255,239) FEC-способность GPON TC-слоя, а также внутренний детектор улучшений).

G.984.3 — спецификации уровня управления передачей в GPON. Представлена фреймовая (кадровая) специальная система координации и управление передачей данных в PON. Две важнейшие особенности:

- высокая эффективность (превышающая 90%);
- способность передавать как ATM-ячейки, так и кадры данных в формате инкапсуляции GFP (официально стандартизирован как G.704.1 ITU-T).

Кадры в нисходящем потоке имеют постоянную длительность 125мксек, легко синхронизируются и обеспечивают доступ к 8кГц сетевым часам, что дает возможность прямого использования TDM-услуг. Кадр в нисходящем потоке состоит из 3-х частей:

- блок физического контроля — PCB - информация заголовка физического уровня, для контроля и управления PON, включая посылку OAM-сообщений (выделенные каналы), передачу сигналов низкого уровня и таблицу полосы пропускания;
- ATM-участка — динамически распределяемая часть кадра — переносит в ATM-ячейки в ONT (ONU), где с помощью индикатора виртуальной линии — VPI ATM — определяется какая ячейка предназначается какому ONT;
- участка GEM - Gigabit Encapsulation Mode – гигабитный режим инкапсуляции — доставляет фрагменты GEM абонентским ONT, которые используют идентификаторы Port-ID для определения, какой фрагмент GEM принадлежит какому ONT.

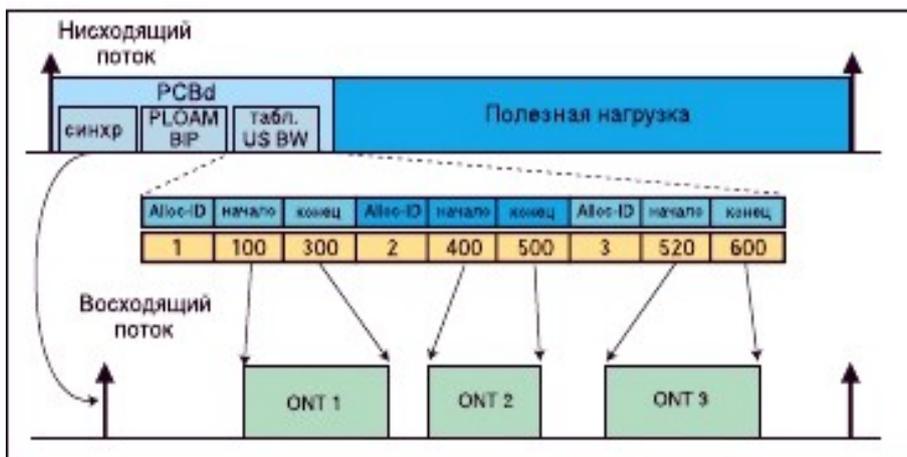


Рис. 12. Организация контроля доступа к среде передачи GPON.



Рис. 13. Структура кадра в нисходящем потоке GPON.

Кадр в восходящем потоке динамически управляется OLT с помощью таблицы полосы пропускания — список времен начала и окончания передачи идентификатора Allocation-ID абонентского ONT, который может содержать один

или несколько Allocation-ID, в зависимости от профиля услуги — то есть ONT будет передавать в восходящем потоке данные к OLT только в указанном таблицей окне, в остальной части кадра ONT передача запрещена. Если ONT производит передачу в двух последовательных окнах, то заголовок физического уровня посылается один раз, для экономии полосы пропускания.

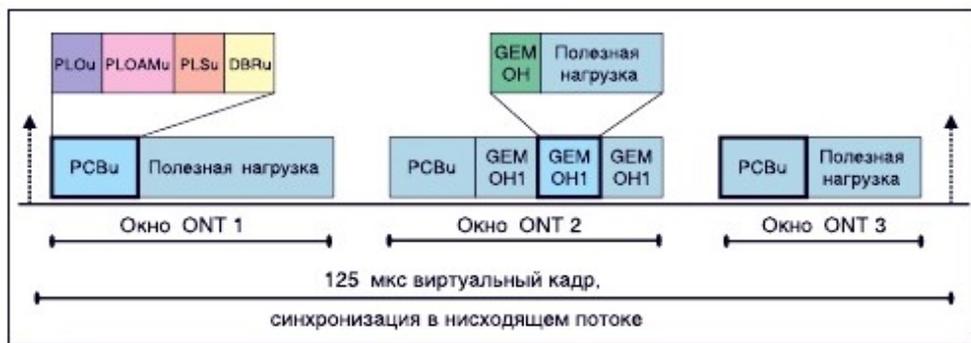


Рис. 14. Синхронизация передачи в кадре восходящего потока GPON.

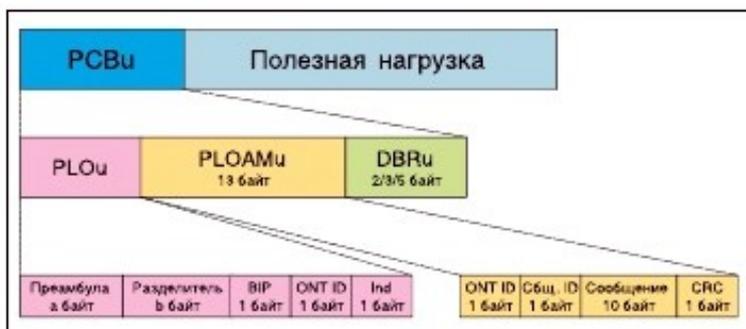


Рис. 15. Структура кадра восходящего потока GPON.

Далее рассмотрим формирование и организацию GEM-каналов.

Между ONT и OLT трафик передается в сформированной PON-сети ПД с использованием GEM-каналов переменной длины. Каждая услуга (вид) при организации сети связи рассматривается как единый пункт назначения в ONT и идентифицируется OLT индивидуальным ALLOC_ID. Сколько абоненту назначено видов услуг — столько и будет у него на ONT присвоенных ALLOC_ID — пунктов назначения трафика. Номер ALLOC_ID назначается OLT из диапазона 0.....4095.

В рамках одного пункта назначения (вид услуги в ONT) с выделенным ALLOC_ID создается группа логических соединений - GEM-каналов из GEM-портов каждый из которых имеет свой идентификатор — GEM_port_ID, который также назначается OLT из диапазона 0.....4095.

Условно структуру доставки трафика-каждого GEM-канала можно представить следующим образом:

Ethernet_OLT<=>

<=>порт_GPON-OLT-групповой<=>

<=>ONT/(ONU)-identified by ONU_ID<=>

<=>пункт назначения/(тип услуги)-identified by ALLOC_ID<=>

<=>GEM-порт-identified by GEM_port_ID<=>

<=>Ethernet_ONT

Существует два типа каналов GEM:

- каналы GEM только по потоку — эти каналы используются для передачи трафика широковещательной/многоадресной передачи по потоку от OLT ко всем ONT - ONT определяют трафик, предназначенный для них на основе идентификатора порта GEM;
- двунаправленные каналы GEM - эти каналы используются для потока вверх и вниз по потоку между OLT и ONT - кадры передаются из OLT в интерфейс GPON и пересылаются только на физический порт пункта назначения ONT, на который был назначен этот порт GEM.

Таким образом, в интерфейсе GPON каждый GEM-порт несет один или несколько потоков трафика, связанных с конкретным классом трафика.

В структуре оконечного интерфейсе ONT трафик делится на VLAN с различными приоритетами Ethernet на основе: физического порта, идентификатора VLAN, битов 802.1p и/или DSCP (Differentiated Services Code Point). Как только трафик будет назначен значениям VLAN и COS (802.1p), эти два значения используются для выбора восходящего GEM-порта, чтобы QoS можно было применить к потокам, переносимым GEM-портом.

В архитектуре VLAN один к одному ONT отображает каждую виртуальную локальную сеть в уникальный выходной интерфейс — чаще Ethernet. Существует два варианта назначения тегов на входном интерфейсе OLT в восходящем направлении — трафик там адресуется как двухточечный или одноточечный.

Для VLAN с двойным тегированием и назначенным идентификатором C-VLAN для ONT при прописанной службе эмуляции OLT может сам добавить идентификатор S-VLAN.

Для VLAN с двойной меткой в сторону ONT могут назначаться идентификаторы VLAN S-C для входящего трафика и OLT пропускает его транзитом.

В обратном направлении для одноточечной VLAN ONT добавляет идентификатор S-VLAN или преобразует входящий тег в идентификатор S-VLAN для восходящего трафика и OLT будет пропускать через себя такой сквозной трафик.

В направлении вниз по потоку OLT удаляет внешний тег и пропускает трафик на соответствующий порт GEM на основе значения тега и битов приоритета. ONT удаляет теги и пересылает кадры из порта GEM в свой соответствующий выходной интерфейс.

Таким образом подслоем GTC Adaptation отображает Ethernet-фреймы в рамки GPON GEM. Для обеспечения QoS используются два механизма:

- классификация трафика в классах механизмом QoS для поддержки QoS Ethernet (биты 802.1p);
- перенаправление классов трафика в порты GEM и ALLOC_ID, настроенные для эмуляции службы QoS Ethernet.

В OLT трафик полученный от внешнего интерфейса присваивается очередям в соответствии с классами и передается в нисходящем направлении к ONT. В ONT трафик снова классифицируется и помещается в соответствующие очереди для каждого выходного интерфейса ONT. И наоборот.

Процедура активации ONT состоит из следующих этапов:

- ONT получает рабочие параметры PON;
- ONT настраивает уровень оптической передачи в соответствии с требованиями OLT;

- OLT определяет серийный(-е) номер(-а) вновь подключенных ONT;
- OLT назначает идентификаторы ONT-ID всем вновь подключенных ONT;
- OLT измеряет расстояние от OLT до вновь подключенных ONT и назначает корректирующие задержки для новых ONT;
- ONT настраивает начало отсчета часов (синхроимпульсов) для кадров в восходящем потоке в соответствии со своей корректирующей задержкой в сети PON.

До описания элементов и конструктивов небольшая справка по QoS.

Понятие службы QoS объединяет три механизма приоритетов трафика ToS, DSCP, CoS. QoS - Quality of Service (качество обслуживания) и выражается в построении и обработке очереди пакетов с разными из присвоенных приоритетов по одному из существующих алгоритмов DWRED - Distributed Weighted Random Early Detection, WFQ - weighted fair queueing или CAR - Committed Access Rate.

Вначале расшифруем аббревиатуры. ToS означает Type of Service, DSCP - Differentiated Services Code Point, CoS - Class of Service.

Аббревиатуры ToS и DSCP тождественны - используются для обозначения специального байта данных стандартного заголовка IP-пакета. Этот байт несет информацию о приоритете трафика, который в сетевом трафике обычно назначается для пакетов IP-телефонии (третий сетевой уровень L3). Поскольку это один и тот же байт, то он иногда интерпретируется по-разному (либо как ToS-байт, либо как DS/DSCP-байт), получается некоторая путаница, хотя смысл и принцип технологии приоритетов не меняется - пакеты, помеченные более высоким приоритетом, передаются быстрее (менее приоритетные становятся в очередь). Наложение на пакеты битов приоритета еще называют "маркированием" трафика, и чтобы механизм приоритетов действительно работал, на всем пути прохождения трафика биты приоритета необходимо анализировать и обрабатывать на активном сетевом оборудовании (настраиваемые роутеры и коммутаторы). На рисунке 16 показан порядок следования бит байта маркировки трафика (красным отмечены наиболее важные, серым - неиспользуемые).

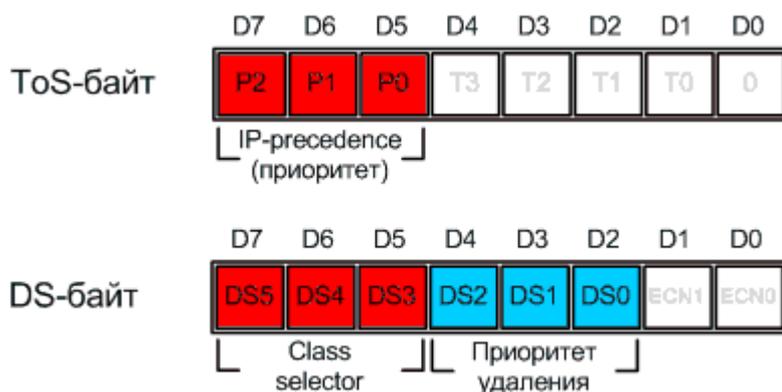


Рис. 16. Маркировка трафика битами приоритета.

Если для маркировки пакетов используют механизм ToS, то в контексте приоритета имеют в виду 3 старшие бита P2...P0, кодирующие уровень приоритета от 0 (минимальный приоритет) до 7 (максимальный приоритет).

В случае пакетов IP-телефонии применяется уровень приоритета 5 (critical, ToS-байт равен 0xA0 или 10100000b), а для обычного трафика уровень 0 (routine,

ToS-байт равен 0x00 или 00000000b). Оборудования Cisco для каждого уровня приоритета использует специальное имя (precedence critical, precedence flash и прочие, см. далее), но работа механизма та же.

Cisco - IP Precedence Value:

0-routine; 1-priority; 2-immediate; 3-flash; 4-flash-override; 5-critical; 6-internet; 7-network.

Если для маркировки приоритета используют механизм DSCP, то имеют в виду 6 старших бит DS5...DS0, где биты DS5...DS3 кодируют уровень класса обслуживания от 0 (минимальный приоритет) до 7 (максимальный приоритет) и биты DS2...DS0 - приоритет удаления пакетов (от 0, когда приоритет удаления максимальный, до 7, когда приоритет удаления минимальный - кодирование приоритета удаления "обратное"). В итоге получается число от 0 до 63, кодирующее приоритет (чем больше число, тем трафик важнее). Такое многоуровневое кодирование приоритета часто оказывается избыточным, и поэтому часто, для определения приоритета, используются только биты DS5...DS3. В случае пакетов IP-телефонии применяется класс сервиса 5 (DS-байт равен 0xA0 или 10100000b), а для обычного трафика - класс сервиса 0 (DS-байт равен 0x00 или 00000000b). При сравнении с ToS - меняется только терминология, а значение байта остается и передается то же самое.

Если для маркировки приоритета трафика (пакетов) используют механизм CoS, то это значит, что передача данных производится на втором сетевом уровне L2 (MAC-адреса). При этом для кодирования пакетного приоритета также используются 3 бита (получаются уровни класса сервиса от 0 до 7). Расположение бит приоритета в потоке данных зависит от типа магистрального канала L2.

Конструктивы и элементы сетей PON

На сети PON обычно используются следующие конструктивы, материалы и элементы (компоненты) сети:

- Оптические кабели магистральной, распределительной сети и абонентской проводки;
- Оптический кросс высокой плотности для установки на АТС (ODF OLT);
- Оптические распределительные шкафы (ОРШ);
- Оптические распределительные коробки (ОРК);
- Оптические абонентские розетки (РА);
- Оптические разветвители (сплиттеры);
- Оптические мультиплексоры WDM и аттенюаторы;
- Различные патч-панели и аксессуары.

Рассмотрим подробнее устройство различных элементов сети абонентского доступа PON.

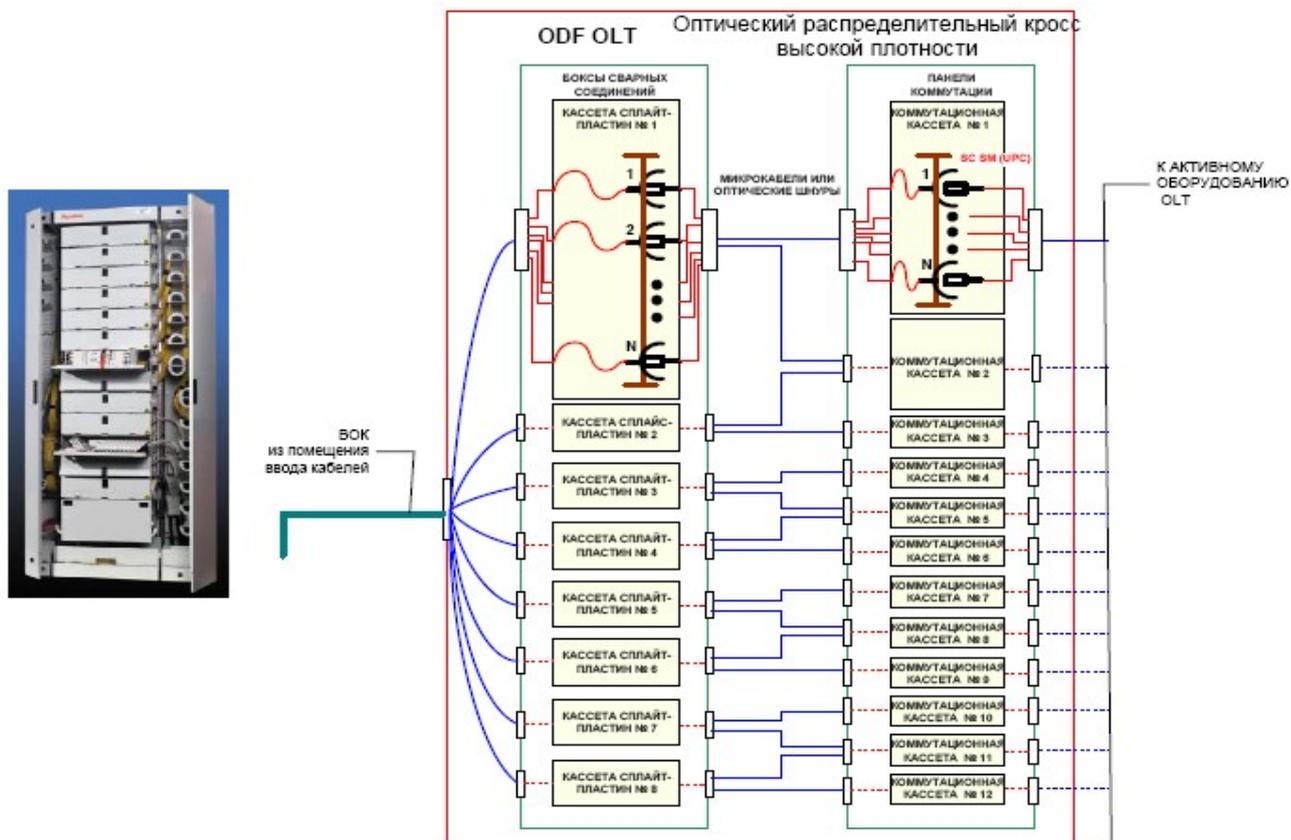
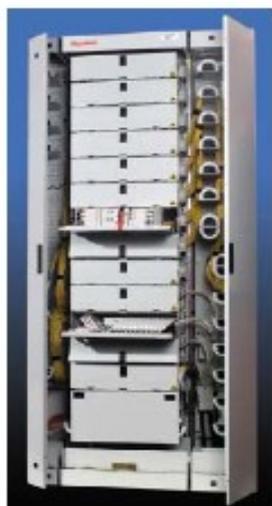
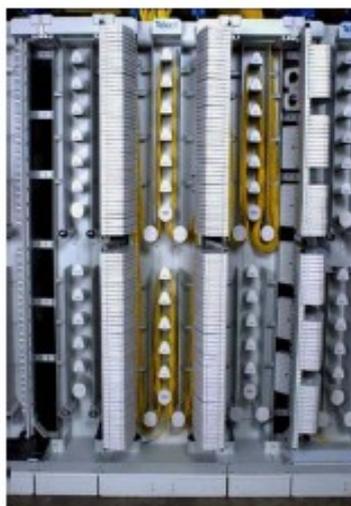


Рис. 16. Устройство оптического кросса высокой плотности ODF PON.

FIST GR2 (TYCO)



TELECT (США)



FINNFLASH 1000 (ONINEN)



Рис. 17. Оптические кроссы высокой плотности разных производителей.

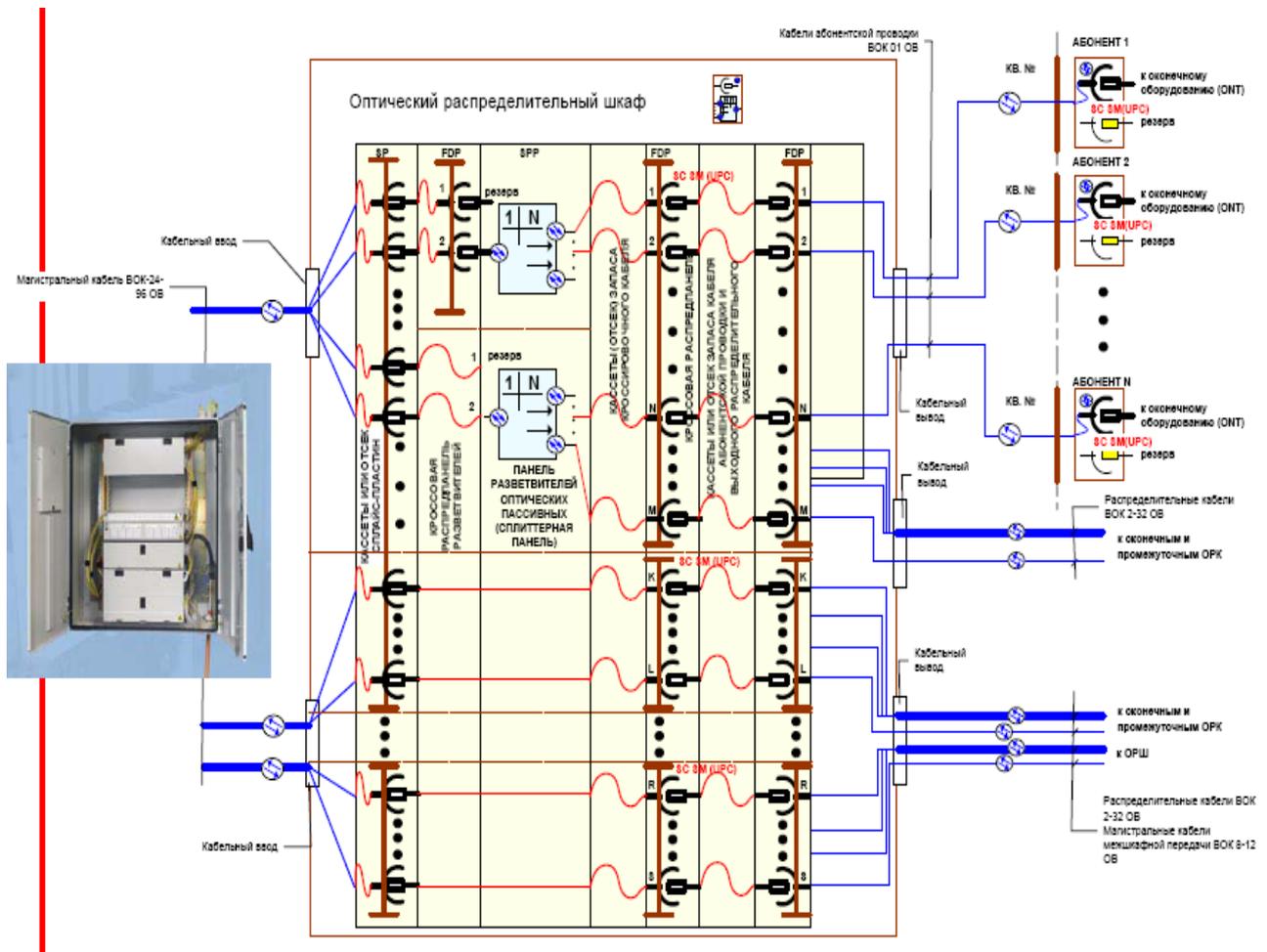
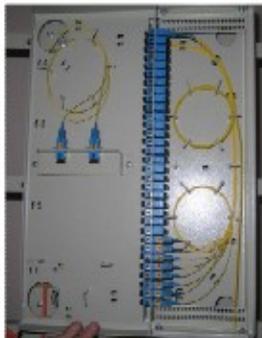


Рис. 18. Устройство оптического распределительного шкафа ОРШ PON.

ОРШ Лентелефонстрой-Опытный завод



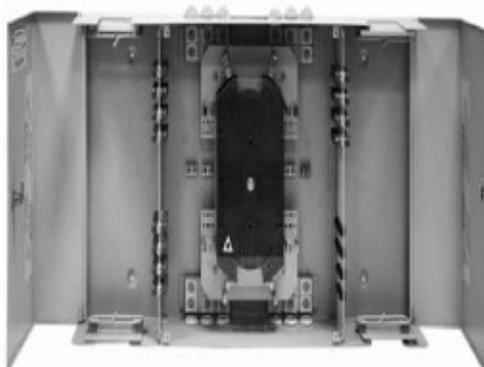
ОРШ ТУСО



ОРШ TELEST (США)



ОРШ Связьстройдеталь



ОРШ Oninnen (Teletekno)



Рис. 19. Оптические шкафы разных производителей.

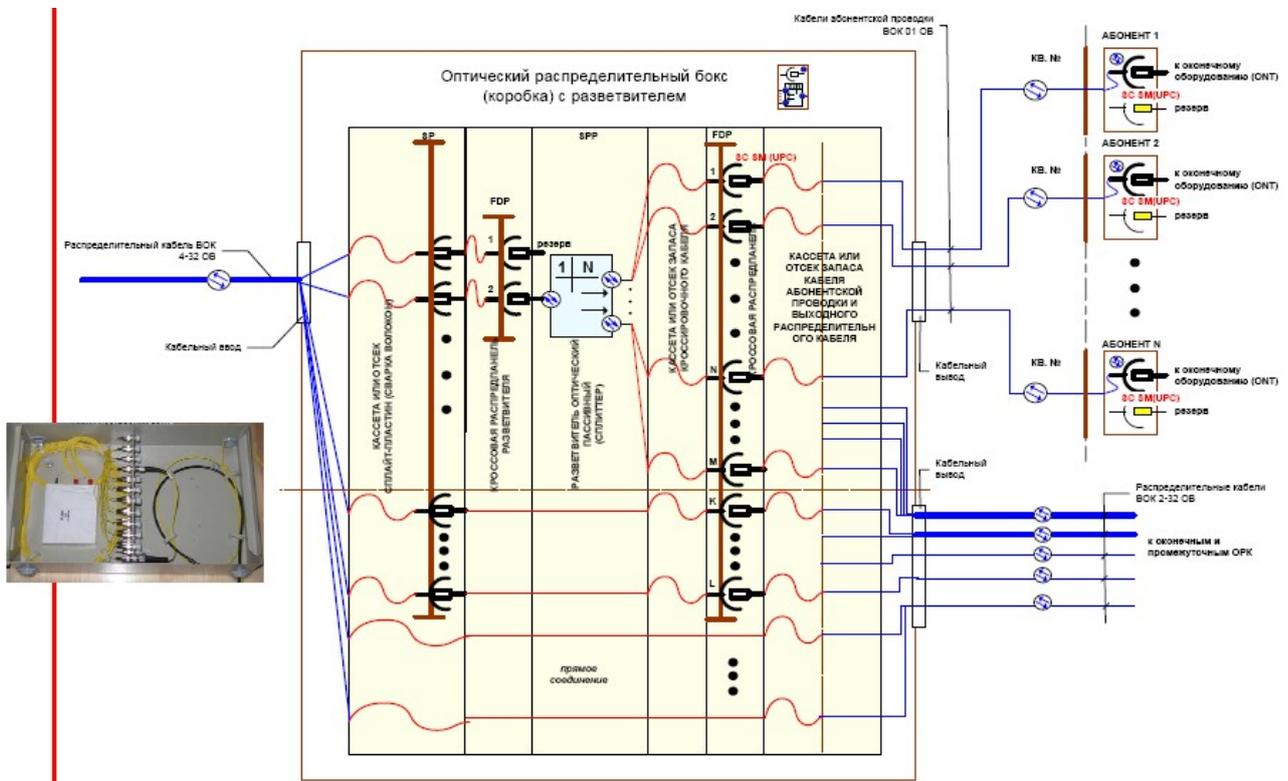


Рис. 20. Устройство оптической распределительной коробки ОРК PON.

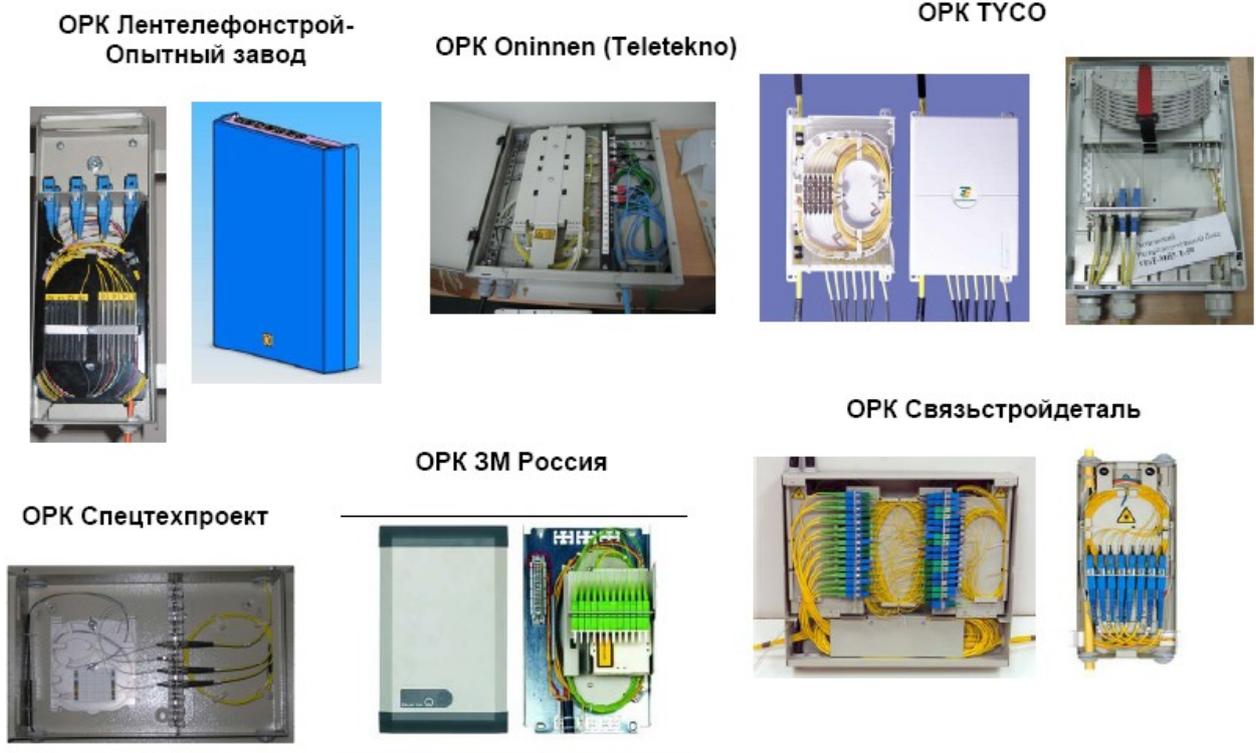


Рис. 21. Оптические коробки разных производителей.

Надежность и качество связи и получаемых абонентом услуг напрямую зависит от затухания сигнала в абонентской линии. Перечислим основные причины затухания сигнала в АЛ PON:

- полное затухание в оптическом волокне: зависит от коэффициента затухания волокна на определенной длине волны и его длины — $\text{max } 0,34 \dots 0,4 \text{ дБ/км}$;
- полные потери в сростках (сварные соединения): зависят от потерь в каждом сростке и их общего количества — $\text{max } 0,05 \dots 0,1 \text{ дБ/сросток}$;
- полные потери в соединителях (разъёмные соединения): зависят от потерь в каждом соединителе и их общего количества — $\text{max } 0,2 \dots 0,3 \text{ дБ/разъем}$;

- потери в разветвителях волокон (сплиттерах): зависят от коэффициента разветвления - 1/2 — 3,5 дБ; 1/4 — 7,2 дБ; 1/8 — 10,7 дБ; 1/16 — 14,4 дБ; 1/32 — 17,5 дБ;
- штрафные потери: потери на изгибах волокна при прокладке - 1дБ;
- эксплуатационные потери: на кабельных вставках при ремонте — 3дБ.

Расчёты затухания Тип волокна: G.652 ITU-T D		Единица измерения	Длина волны, нм	
			1310	1490
1	Коэффициент затухания волокна	дБ/км	0,20	0,25
2	Хроматическая дисперсия	пс/нм км	3,50	18,0
3	Длина линии	км	5	2,5
4	Вносимое волокном затухание	дБ	1	0,6
5	Средние потери в сростке	дБ	0,05	0,05
6	Количество сростков	шт.	4	4
7	Суммарные потери в сростках	дБ	0,2	0,2
8	Эксплуатационный запас	дБ	3,0	3,0
9	Средние потери в соединителях	дБ	0,30	0,30
10	Количество соединителей	шт.	4	4
11	Суммарные потери в соединителях	дБ	1,20	1,20
12	Потери разветвления 1: 32 / 1:16	дБ	17,5/13,7	17,5
13	Потери разветвления 1: 2 / 1:4	дБ	3,5/7,5	3,5
14	Общие потери в линии связи	дБ	26,4	26
15	Допустимые потери	дБ	28,0	28,0
16	Остаточный запас по затуханию	дБ	1,6	2

Пример расчета реального бюджета оптической АЛ по затуханию приведен в таблице. Но необходимо учитывать, что на реальную скорость АЛ влияет не только исправность и техсостояние линии, но и общая абонентская нагрузка (общий трафик) на устройство доступа.

По данным, полученным ФГУП ЦНИИС реальные измерения скорости АЛ сетей абонентского доступа на FTTx-технологиях дали следующие результаты:

- Средняя скорость для абонента сети доступа по технологии GPON - $V_{аб.ср.}=13$ Мбит/с
- Средняя скорость для абонента сети доступа по технологии FTTB/Ethernet - $V_{аб.ср.}=17$ Мбит/с
- Максимальная скорость для абонента сети доступа по технологии GPON - $V_{аб.макс.}=114$ Мбит/с
- Максимальная скорость для абонента сети доступа по технологии FTTB/Ethernet - $V_{аб.ср.}=59$ Мбит/с

Подключение услуг Triple Play по PON



Рис. 22. Подключение абонентов на сети абонентского доступа по технологии PON.

Пример подключения абонентов на сети доступа по технологии PON приведен на рисунке 22. Организация предоставления услуг подробно рассмотрена в 4 лекции.