

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

1.1. Основные принципы построения ОСД

Эффективное использование ресурсов уже созданных магистральных транспортных оптических сетей и дальнейшее их развитие не имеют смысла без адекватного развития оптических сетей доступа (ОСД). С другой стороны, потребность в таком развитии ОСД возрастает ускоряющимися темпами.

Сегодня все крупные провайдеры ощущают острую необходимость интегрального предоставления перечисленных все виды услуг связи по одному физическому каналу. Интегральное предоставление мультимедийных услуг осуществимо только с помощью широкого внедрения волоконно-оптических технологий, т.е. создания ОСД.

Актуальность развития ОСД, в особенности важнейшего их сегмента – пассивных оптических сетей (ПОС) или PON (Passive Optical Network), определяется регламентирующими стандартами ОСД и PON международного союза электросвязи (МСЭ-Т).

В зависимости от транспортной технологии, обеспечивающей широкополосный мультисервисный доступ, современные пассивные оптические сети в соответствии с международными стандартами и рекомендациями МСЭ-Т подразделяются на несколько видов:

-A-PON – ПОС, использующая протокол ATM со скоростью передачи 155 или 622 Мбит/с;

- B-PON – ПОС, представляющая расширение возможностей A-PON для доступа к дополнительным широковещательным услугам (B – broadcasting) на дополнительных длинах волн;

- G-PON – ПОС, позволяющая расширить возможности A-PON за счет увеличения скорости передачи до 2,5 Гбит/с (G – Gigabite):

- E-PON – ПОС, ориентированная на протокол Ethernet.

Разработка основных положений и принципов построения и применения оптических сетей доступа в документах МСЭ-Т и международных стандартах

неразрывно связана с принципами организации цифровой сети с интеграцией служб (ЦСИС) или ISDN (Integrated Services Digital Network) на базе транспортных технологий: асинхронного способа переноса (АТМ), Ethernet, спектрального разделения по длинам волн (ВОСП-СР) и др.

Сеть доступа – часть сети связи, обеспечивающая доставку сигналов (услуг связи) между пользователями и транспортной сетью.

Основное направление развития сетей доступа – цифровизация и увеличение пропускной способности с целью предоставления абонентам комплекса услуг, включая интерактивную цифровую высокоскоростную связь и услуги мультимедиа.

Развитие сетей доступа происходит по двум основным направлениям:

- использование существующих кабельных сетей;
- строительство новых оптических линий связи.

Использование волоконно-оптических средств на сетях доступа позволяет реализовать:

- организацию типовых телефонных (аналоговых или цифровых) каналов с меньшими капитальными затратами, чем на кабелях с медными жилами;
- передачу по тем же оптическим волокнам программ кабельного телевидения;
- создание цифровых сетей с интеграцией служб, включая услуги мультимедиа.

При этом физический уровень технических средств сети доступа остается практически неизменным для любого варианта (капитальные затраты не меняются). Может увеличиваться только стоимость терминального оборудования и оплата услуг по мере увеличения их количества и качества.

Другими словами, оптические сети доступа имеют возможность одновременного удовлетворения как потребителей, которым нужен традиционный телефонный аппарат, так и потребителей, которым требуется широкополосный канал, включая кабельное телевидение.

На рисунке 1.1 приведены различные варианты организации ОСД, включая:

- ВВД (FTTH - Fibre To The Home) - волокно вводится в дом (помещение индивидуального пользователя);

- ВвК (FTTCab - Fibre To The Cabinet) - волокно вводится в кабинет (офис, учреждение);

- ВвЗ (FTTB - Fibre To The Building) - волокно вводится в здание (к группе пользователей);

- ВвШ (FTTC- Fibre To The Curb) - волокно вводится в распределительный шкаф (перед одним или несколькими зданиями).

На рисунке 1.2 приведена типовая конфигурация ОСД, которая включает:

- оптическое линейное окончание, ОЛО (OLT - Optical Line Terminal);

- оптический сетевой блок, ОСБ (ONU - Optical Network Unit);

- оптическая распределительная сеть, ОРС (ODN - Optical Distribution Network).

ОЛО является окончанием ОСД на станционной стороне (станции или узла предоставления услуг).

ОСБ является окончанием ОСД на стороне абонента (пользователя).

ОРС обеспечивает средства оптической передачи от ОЛО к пользователям и обратно, как правило, состоит из пассивных оптических компонентов.

Как показано на рисунке 1.2, ОСД является системой между точками нормирования параметров стыка пользователя ССП (Т) и стыка узла обслуживания СУО (V).

На ОСД должны быть предусмотрены точки доступа для оптических измерений и контроля. Эти точки могут быть расположены в ОЛО, ОСБ/ОСО, ОРС/ПОС. Должно быть обеспечено сопряжение с системой управления электросвязи, через стык типа Q₃, как показано на рисунке 1.2.

На рисунке 1.3 показана структурная схема ОРС (ПОС). Сплошная линия обозначает одно или более оптических волокон. Пунктирная линия обозначает дополнительные резервные волокна.

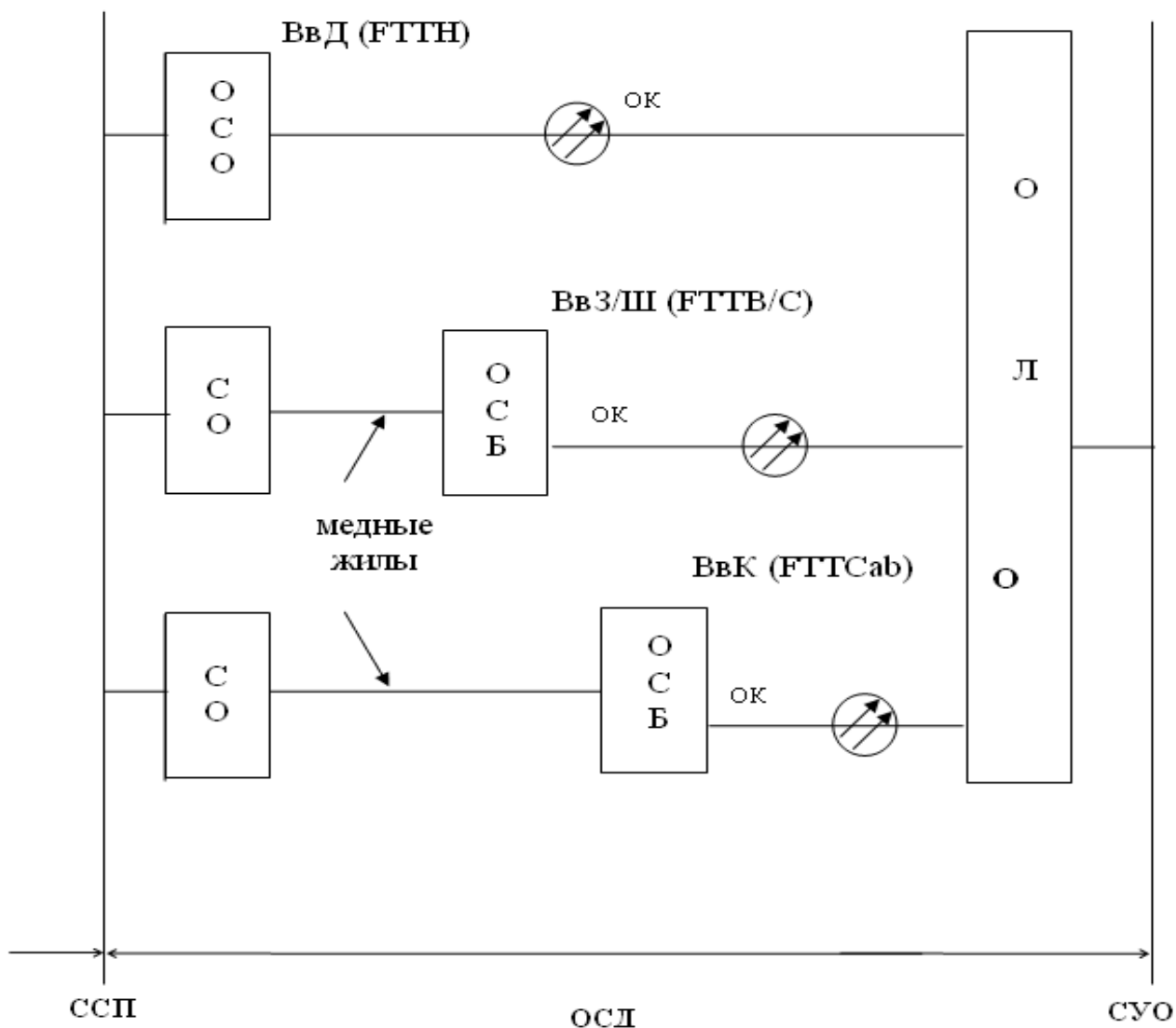


Рис. 1.1. Варианты организации ОСД.

ВвД (FTTH)	- волокно вводится в дом (помещение индивидуального пользователя)
ВвК (FTTCab)	- волокно вводится в кабинет (офис, учреждение)
ВвЗ (FTTB)	- волокно вводится в здание (к группе пользователей)
ВвШ (FTTC)	- волокно вводится в распределительный шкаф (перед одним или несколькими зданиями)
ОСО	- оптическое сетевое окончание
СО	- сетевое окончание
СУО	- стык узла обслуживания (пункт доступа ТС или узел предоставления услуг)
ССП	- стык сети пользователя
ОЛО	-оптическое линейное окончание

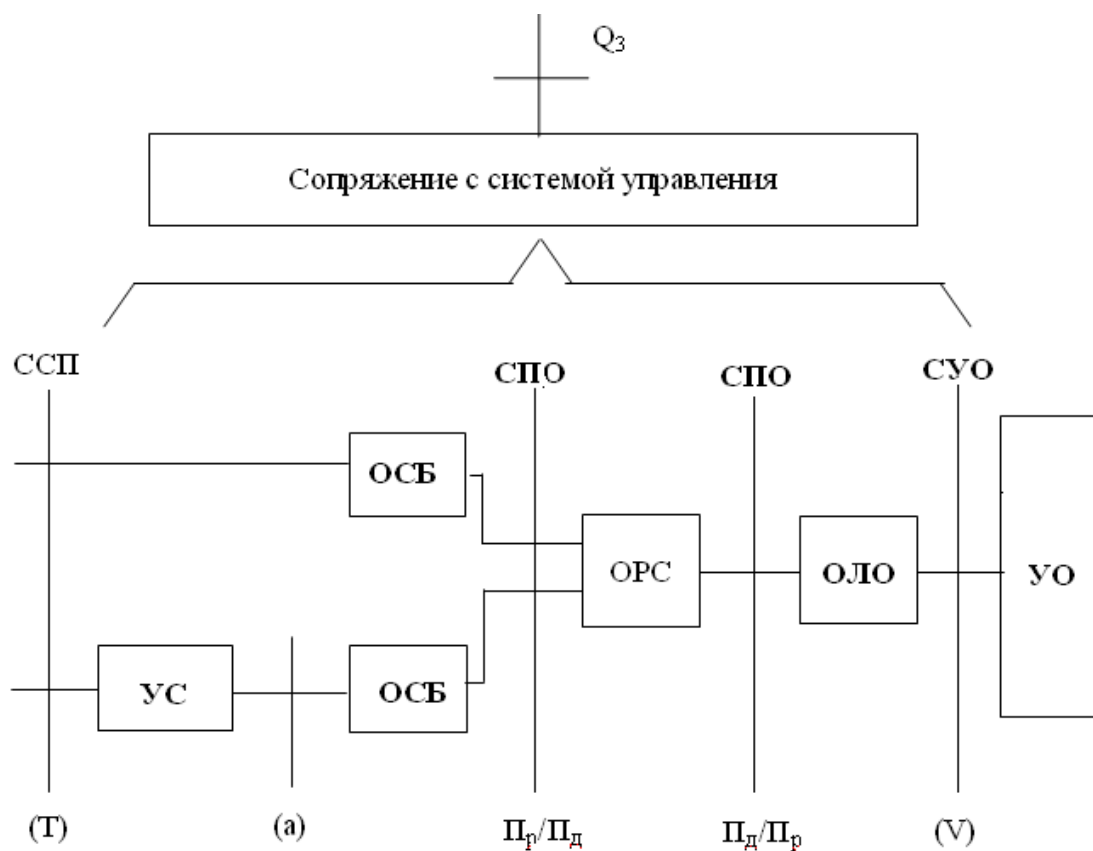


Рис. 1.2 Типовая конфигурация оптической сети доступа

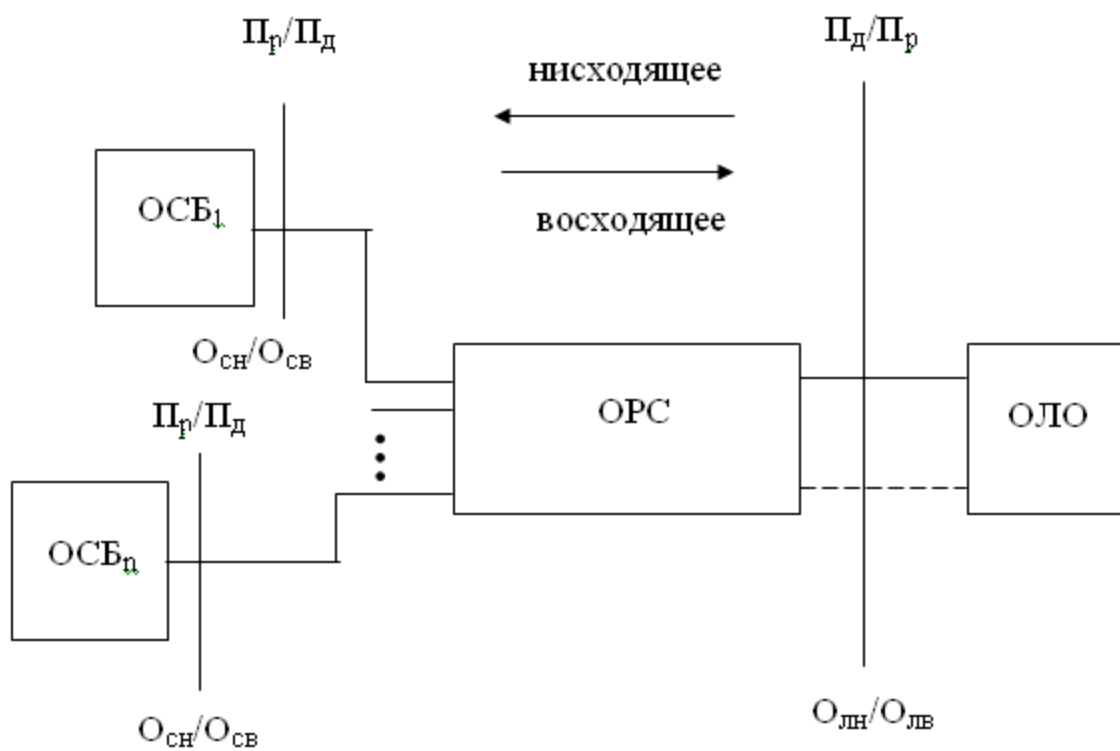


Рис. 1.3 Структурная схема оптической распределительной сети

Два направления оптической передачи в ОРС/ПОС определяются следующим образом:

- нисходящее направление для сигналов, поступающих от ОЛО к одному или нескольким ОСБ;
- восходящее направление для сигналов, поступающих от одного или нескольких ОСБ к ОЛО.

На рисунке 1.3 обозначены следующие оптические стыки:

- $O_{сн}$, $O_{св}$ – оптический стык в точке нормирования P_p/P_d между ОСБ и ОРС/ПОС для нисходящего и восходящего направлений соответственно;
- $O_{лн}$, $O_{лв}$ – оптический стык в точке нормирования P_d/P_p между ОЛО и ОРС/ПОС для нисходящего и восходящего направлений соответственно.

Выбор конкретной топологии ОСД, основанной на архитектуре сети доступа на стороне абонента типа ВвЩ, ВвЗ и/или ВвД и архитектуре (или комбинации архитектур) ОРС/ПОС при конкретном проектировании, должен осуществляться с учетом нижеследующих факторов:

- существующая инфраструктура сети доступа, возможность и необходимость ее модернизации;
- топологическое распределение абонентов.
- возможность подключения новых абонентов к существующим и будущим сетям связи для быстрого и гибкого обеспечения универсального доступа к услугам связи;
- величина расстояния между ОЛО и ОСБ;
- потребность в оптических трактах с разной пропускной способностью, позволяющих при существующей технологии предоставлять все более изменяющийся набор услуг;
- надежность и доступность;
- питание оптических сетевых блоков;
- емкость кабеля;
- безопасность;

- эксплуатация и техническое обслуживание;
- снижение вносимых инвестиций и эксплуатационных расходов и т.д.

A-PON - самый первый вариант технологии, основанный на использовании протокола ATM. Скорость нисходящего непрерывного потока ATM в технологии A-PON достигает 155 Мбит/с. Позже стандарт был усовершенствован: увеличена скорость передачи (622 Мбит/с), реализовано динамическое распределение ресурсов полосы пропускания и т.п. Для того чтобы название стандарта более полно отражало сущность обновленной технологии, консорциум принял решение ввести новое наименование - Broadband PON (B-PON). Технология B-PON, стандартизованная МСЭ, реализует помимо традиционных ВРК-услуг большое количество широкополосных услуг, включая доступ Ethernet и трансляцию аналогового и цифрового видео. Недавно консорциум FSAN, продолжающий работы по стандартизации высокоскоростных (свыше 1 Гбит/с) сетей PON, предложил новое решение для построения оптических сетей доступа – G-PON (Gigabit PON). Данная технология, обладающая очень высокой производительностью, стандартизована МСЭ и предназначена для реализации мультисервисных услуг, причем не только на базе протокола IP, но и на основе ВРК.

В одном волокне сетей PON для нисходящего и восходящего потоков задействуются разные длины волн (метод WDM). Теоретически могла бы использоваться и одна длина волны, но, во-первых, две частоты обеспечивают лучшую оптическую изоляцию между передатчиком и приемником, а во-вторых, при задействовании двух частот можно применять недорогие планарные лазеры, которые позволяют значительно снизить стоимость всей системы.

Рассмотрим основные изменения, повлиявшие на возможность использования протокола Ethernet в мультисервисных сетях доступа:

- достигнут рубеж в 10 Гбит/с;
- появился и был внедрен стандарт полнодуплексного Ethernet IEEE 802.3, который позволил нейтрализовать недостаток протокола связанный с коллизиями и задержками;

-стандарт IEEE 802.3Q, позволяющий организовывать виртуальные сети и приоритезацию трафика;

-протокол DiffServ, позволяющий обеспечить разделение трафика в сети на несколько крупных классов, для каждого из которых будет обеспечиваться определенный уровень качества;

-группа протоколов MPLS (Multy Protocol Label Switching) для быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток.

Таким образом, на сегодняшний момент решения на основе Ethernet стали наиболее универсальными и прочно вошли в повседневную жизнь. По мере того, как Ethernet усовершенствовался новыми стандартами и решениями, оправданной стала идея использования технологии пассивных оптических сетей доступа в рамках стандарта IEEE 802.3.

1.2. Технология A-PON

Общие положения. Технология A-PON основана на АТМ (режим асинхронной передачи), который принципиально может применяться на различных скоростях передачи. В качестве транспортной сети АТМ может использовать существующие каналы СЦИ и ПЦИ. АТМ изначально разрабатывалась как универсальная технология, не зависящая от типа передаваемого трафика, её могут использовать все существующие службы и службы, которые могут появиться в будущем, так как АТМ определяет протоколы на уровнях выше физического. Это даёт возможность постоянного совершенствования алгоритмов кодирования и сжатия информации. Все имеющиеся ресурсы сети могут быть использованы всеми службами, что даёт возможность их оптимального распределения, и обеспечивает высокую эффективность использования сетевых ресурсов. Так как все виды информации транспортируются одним методом, то это даёт возможность проектирования, создания, управления и обслуживания одной сети, что сокращает затраты и делает её наиболее экономичной сетью электросвязи в мире на сегодняшний

день.

Основные принципы АТМ. Технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, АТМ) была разработана как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN. Технология АТМ с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслужить все виды трафика в соответствии с их требованиями.

Единообразие, обеспечиваемое АТМ, состоит в том, что одна транспортная технология может обеспечивать несколько перечисленных ниже возможностей:

- передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причем для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям;

- иерархию скоростей передачи данных, от десятков килобит до нескольких гигабит в секунду.

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определен протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную, как и в сетях X.25, или могут поддерживаться протоколом PNNI.

В технологии АТМ были проанализированы всевозможные образцы трафика, создаваемые различными приложениями, и выделены 4 основных класса трафика, для которых были разработаны различные механизмы резервирования и поддержания требуемого качества обслуживания. Класс

трафика (называемый также классом услуг - service class) качественно характеризует требуемые услуги по передаче данных через сеть АТМ.

В АТМ характеристики пропускной способности называют параметрами трафика и не включают их в число параметров качества обслуживания QoS, хотя по существу они таковыми являются. Параметрами QoS в АТМ являются только параметры CTD, CDV и CLR. Сеть старается обеспечить такой уровень услуг, чтобы поддерживались требуемые значения и параметров трафика, и задержек ячеек, и доли потерянных ячеек.

Такие технологии передачи, как Ethernet и Token Ring, соответствуют семиуровневой модели взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection - OSI). АТМ же имеет собственную модель, разработанную организациями по стандартизации. Модель АТМ, в соответствии с определением ANSI, МСЭ-Т и АТМ Forum, состоит из трех уровней:

- физического;
- уровня АТМ;
- уровня адаптации АТМ.

Стек протоколов АТМ соответствует нижним уровням семиуровневой модели OSI. Прямого соответствия между уровнями протоколов технологии АТМ и уровнями модели OSI нет.

Категории услуг АТМ по управлению трафиком. Для поддержания требуемого качества обслуживания различных виртуальных соединений и рационального использования ресурсов в сети на уровне протокола АТМ реализовано несколько служб, предоставляющих услуги различных категорий (service categories) по обслуживанию пользовательского трафика. Эти службы являются внутренними службами сети АТМ, они предназначены для поддержания пользовательского трафика различных классов совместно с протоколами AAL. Но в отличие от протоколов AAL, которые работают в конечных узлах сети, данные службы распределены по всем коммутаторам сети. Услуги этих служб разбиты на категории, которые в общем соответствуют классам трафика, поступающим на вход уровня AAL конечного узла. Услуги

уровня АТМ заказываются конечным узлом через интерфейс UNI с помощью протокола Q.2931 при установлении виртуального соединения. Как и при обращении к уровню AAL, при заказе услуги необходимо указать категорию услуги, а также параметры трафика и параметры QoS. Эти параметры берутся из аналогичных параметров уровня AAL или же определяются по умолчанию в зависимости от категории услуги.

Всего на уровне протокола АТМ определено пять категорий услуг, которые поддерживаются одноименными службами:

-CBR - услуги для трафика с постоянной битовой скоростью;

-rtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника;

-nrtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;

-ABR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;

-UBR - услуги для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника.

Названия большинства категорий услуг совпадают с названием типов пользовательского трафика, для обслуживания которого они разработаны, но необходимо понимать, что сами службы уровня АТМ и их услуги - это внутренние механизмы сети АТМ, которые экранируются от приложения уровнем AAL

Надежность и резервирование сетей А-PON. В первой Рекомендации МСЭ-Т G.983.1 в приложении IV обсуждается вопрос о построении защищенных систем А-PON, так как отсутствие резервирования является слабой стороной систем доступа А-PON с топологией простого дерева. Неблагоприятным в этом случае мог бы быть сценарий с повреждением волокна,

идущего от ОЛО к ближайшему разветвителю (фидерного волокна). В силу специфики топологии PON, эта задача не является столь простой, как в кольцевых топологиях СЦИ, поскольку полоса восходящего потока в PON является общей и формируется множеством абонентских узлов. В Рекомендации МСЭ-Т G.983.1 было предложено изучить четыре различные топологии. Только две из них окончательно были выбраны для проработки в более поздней Рекомендации МСЭ-Т G.983.5:

-первое решение обеспечивает частичное резервирование по фидерному волокну и по приемопередающему оборудованию на центральном узле (рисунок 2.6). Для реализации данного решения требуется разветвитель $2 \times N$. Центральный узел оснащается двумя приемопередающими модулями;

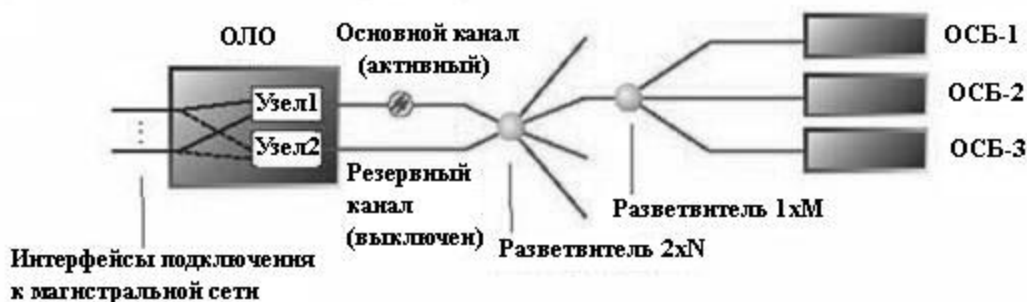


Рис. 1.4. Частичное резервирование

-второй способ защиты системы PON, обеспечивает полное резервирование (рисунок 1.5.). Система становится устойчивой как к выходу из строя приемопередающего оборудования ОЛО и ОСБ, так и к повреждениям любого участка кабельной системы. Информационные потоки на ОСБ генерируются одновременно обоими узлами и передаются в два параллельных восходящих потока. На ОЛО только одна версия двух копий сигналов передается дальше в магистраль, аналогично происходит дублирование в нисходящем потоке. При повреждении волокна или приемопередающих интерфейсов переключение на резервный поток будет очень быстрым и не приведет к прерыванию связи. В этом случае не обязательно подключать все абонентские узлы с резервированием.

Различие по стоимости абонентских узлов с резервированием и без него позволяет дифференцированно предлагать услуги различным категориям абонентов. Первое решение, кроме того, что оно обеспечивает только частичное резервирование, требует большого времени на реконфигурацию при повреждении волокна. Основной причиной задержки является прогрев лазера на ОЛО и выполнение процедуры ранжирования. Практически трудно не выйти за пределы 50 мс, одного из требований, сформулированных в Рекомендации МСЭ-Т G.983.5. Второе решение удовлетворяет всем требованиям и представляется наиболее привлекательным.

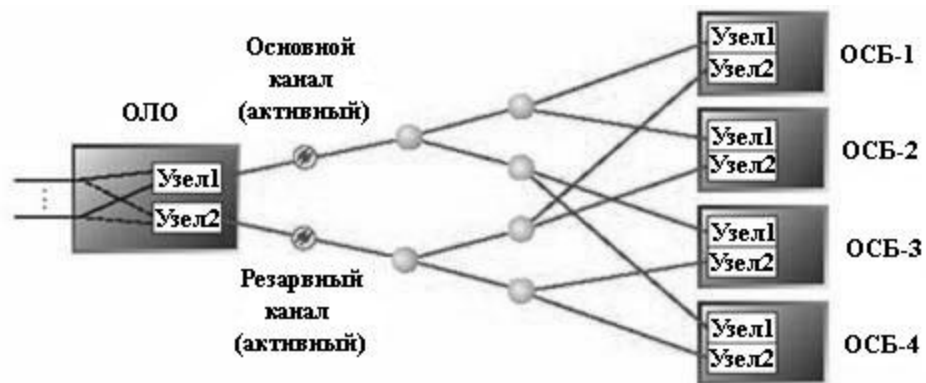


Рис. 1.5. Полное резервирование

1.3. Технология В-PON

Общие положения. Технология В-PON основана на технологии А-PON с добавлением в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.983.3 функций расширения спектрального диапазона, что открывает возможность для предоставления дополнительных услуг на других длинах волн, например, широковещательного телевидения на третьей длине волны (triple play) в пределах той же структуры (дерева) ПОС.

В-PON поддерживает различные архитектуры сети доступа: Fibre to the Home (FTTH), Fibre to the Building/Curb (FTTB/C) и Fibre to the Cabinet

(FTTCab). Как правило, используются FTTH и Fibre to the Business (FTTBusiness). Они отличаются друг от друга тем, что вторая обслуживает более одного пользователя, имеет строгие требования к доступности и предоставляет большую функциональность, чем первая.

На рисунке 1 приведена схема сети доступа на основе технологии В-PON, принципы функционирования и элементы которой рассмотрены в разделе 1.

Здесь же, на рисунке 1.6. показана схема функционирования системы управления ОСД через стык управления и контроля удаленными оптическими сетевыми блоками, ONT (OMCI-ONT Management Control Interface) или, другими словами – управляющий интерфейс (отмечен жирными точками на рисунке в блоках ONT и OLT и пунктиром между ними – каналами управления и контроля).

Принципы функционирования технологии В-PON, также как и А-PON, основаны на транспортировании АТМ ячеек и рассмотрены в разделе 2. В настоящем же разделе рассмотрены общие положения, связанные с работой управляющего интерфейса OMCI.

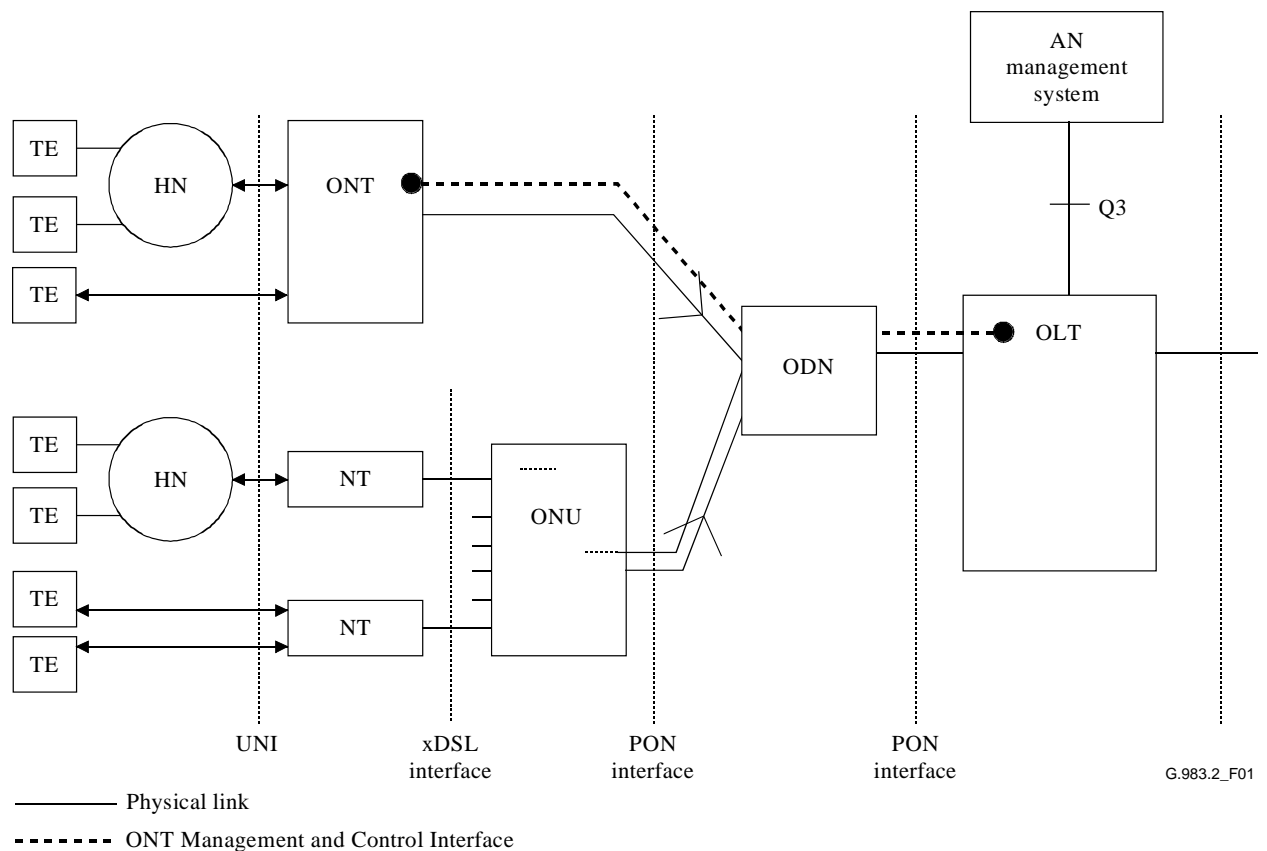


Рисунок 1.6. Схема сети доступа на основе B-PON

TE - Terminal Equipment

NT - Network Terminal

HN - Home Network

ONU - Optical Network Unit

ONT - Optical Network Termination

ODN - Optical Distribution Network

OLT - Optical Line Termination

Управление устранением неисправностей. ONT поддерживает только ограниченное управление при сбоях. Это связано с ограниченной индикацией ошибок.

Группа задач обработки ошибок включает выявление, определение и устранение последствий сбоев и отказов в работе сети. На этом уровне выполняется не только регистрация сообщений об ошибках, но и их фильтрация, маршрутизация и анализ на основе некоторой корреляционной модели. Фильтрация позволяет выделить из весьма интенсивного потока сообщений об

ошибках, который обычно наблюдается в большой сети, только важные сообщения. Маршрутизация обеспечивает их доставку нужному элементу системы управления, а корреляционный анализ позволяет найти причину, породившую поток взаимосвязанных сообщений (например, обрыв кабеля может быть причиной большого количества сообщений о недоступности сетей и серверов).

Устранение ошибок может быть как автоматическим, так и полуавтоматическим. В первом случае система непосредственно управляет оборудованием или программными комплексами и обходит отказавший элемент за счет резервных каналов и т. п. В полуавтоматическом режиме основные решения и действия по устранению неисправности выполняют люди, а система управления только помогает в организации этого процесса — оформляет квитанции на выполнение работ и отслеживает их поэтапное выполнение (подобно системам групповой работы).

Управление качеством передачи. ONT имеет ограниченную способность для мониторинга качества передачи. Вообще, для FTTB_{Business} ONT, может потребоваться управление трафиком на уровне кадров протокола ATM.

Необходимо отметить, что из-за требований различных операторов связи (провайдеров), каждый производитель ONT может поддерживать различные уровни управления качеством передачи физических интерфейсов. В стандарте не утверждается, что секунды за которые происходили ошибки, должны генерироваться на конкретном интерфейсе. Производитель оборудования может сам решить какими дополнительными счетчиками он дополнит оборудование и ПО.

Задачи анализа качества передачи и надежности связаны с оценкой на основе накопленной статистической информации таких параметров, как время реакции системы, пропускная способность реального или виртуального канала связи между двумя конечными абонентами сети, интенсивность трафика в отдельных сегментах и каналах сети, вероятность искажения данных при их передаче через сеть, а также коэффициент готовности сети или ее определенной

транспортной службы. Функции анализа производительности и надежности сети нужны как для оперативного управления сетью, так и для планирования развития сети.

Результаты анализа качества передачи и надежности позволяют контролировать соглашение об уровне обслуживания (SLA – Service Level Agreement) заключаемое между пользователем сети и ее администраторами (или компанией, продающей услуги). Обычно в SLA оговариваются такие параметры надежности, как коэффициент готовности службы в течение года и месяца, максимальное время устранения отказа, а также параметры производительности, например средняя и максимальная пропускная способности при соединении двух точек подключения пользовательского оборудования, время реакции сети (если информационная служба, для которой определяется время реакции, поддерживается внутри сети), максимальная задержка пакетов при передаче через сеть (если сеть используется только как транзитный транспорт). Без средств анализа качества передачи и надежности поставщик услуг публичной сети или отдел информационных технологий предприятия не сможет ни проконтролировать, ни тем более обеспечить нужный уровень обслуживания для конечных пользователей сети.

Управление защитой информации. Задачи управления безопасностью подразумевают контроль доступа к ресурсам сети (данным и оборудованию) и сохранение целостности данных при их хранении и передаче через сеть. Базовыми элементами управления безопасностью являются процедуры аутентификации пользователей, назначение и проверка прав доступа к ресурсам сети, распределение и поддержка ключей шифрования, управления полномочиями и т. п. Часто функции этой группы не включаются в системы управления сетями, а реализуются либо в виде специальных, либо входят в состав операционных систем и системных приложений.

Контроль потока данных и их восстановление в случае сбоев. Контроль передачи сообщений (flow-control) и процедура

восстановления (recovery) для сообщений передающихся через OMCI основаны на подтверждениях механизме «stop-and-wait», который поддерживает приоритезацию трафика и нормально работает на сети при большой нагрузке. Контроль передачи потока сообщений осуществляется с помощью запросов и подтверждений: в начале OLT посылает запрос на передачу сообщения, пока этот запрос не обработает ONT, следующий запрос этого приоритета не будет послан. «stop-and-wait» протокол использует корреляцию поля identifier, сброс счетчиков и запрос таймеров транзакции для контроля потока сообщений. Целостность данных обеспечивается с помощью подсчета CRC (Cyclic Redundancy Check) циклической проверки четности с избыточностью. Схема определения ошибок при передаче данных. На основе полиномиального алгоритма вычисляется контрольная сумма передаваемого модуля данных и передается вместе с данными. Получившее пакет устройство заново вычисляет контрольную сумму по тому же алгоритму и сравнивает ее с принятым значением. Отсутствие расхождений говорит о высокой вероятности безошибочной передачи.

1.4. Технология E-PON

Общие положения. E-PON использует преимущества пассивных оптических сетей и позволяет организовать сеть доступа с архитектурой «точка-многоточка» максимальной протяженности до 20 км со скоростью передачи 1 Гбит/с. Особенностью такого подхода к организации сети является то, что пользователи подключаются выделенным оптическим волокном к выходному порту оптического разветвителя, но при этом участок между ОЛЮ и входным портом разветвителя является общей средой.

Так как в подавляющем большинстве случаев оборудование ОЛЮ

расположено на стороне оператора услуг, то этот узел ОСД в зарубежной литературе называют также центральным узлом. Участок оптического волокна, соединяющий центральный узел и оптический разветвитель называют фидерным волокном. Таким образом, фидерное волокно передает оптические сигналы между центральным узлом и разветвителем, который позволяет подключать одновременно несколько абонентских узлов (ОСБ). Для удобства подключения пользователей в точке первичного разветвления устанавливается волоконно-распределительный концентратор. Волоконно-распределительный концентратор состоит из разветвителя, соединяющегося с одной стороны с фидерным волокном, и кросс-панели. Каждый выходной порт кросс-панели соединен с пользователем. В случае необходимости подключения нового пользователя, порт кросс-панели, к которому подведено волокно от нового пользователя, соединяется с соответствующим портом на разветвителе. Распределительные волокна протягиваются от кросс-панели до ОСБ. Данная схема организации сети доступа позволяет в полной мере использовать преимущества технологии ПОС, а именно:

- невысокая стоимость построения сети, технология реализует возможность подключения через одно оптоволокно большого количества абонентских терминалов, что способствует значительной экономии волокон;

- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети, преимущество обусловлено использованием пассивного оборудования в распределительной сети;

- возможность постепенного наращивания сети, ввод новых узлов не оказывает влияния на действующую сеть;

- перспективность создания распределительной инфраструктуры, строительство оптической распределительной сети закладывает хорошую и долговременную основу для дальнейшего развития и предоставления в будущем любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;

-надежность, использование меньшего числа активных элементов в сети обеспечивает ее надежность, и, кроме того, способствует как снижению чувствительности к влиянию смежных линий связи, так и уменьшению воздействия на них;

-высокая гибкость, построение распределительной сети по технологии ПОС требует применения всего лишь одного оптического волокна, а не пучка волокон, как при использовании других оптоволоконных технологий, благодаря чему можно строить сеть по шинной или древовидной топологии, что весьма выгодно с экономической точки зрения и позволяет использовать ее в любых сетевых конфигурациях семейства Ввх (FTTx).

Топология сети E-PON. Типичное дерево E-PON представлено на рисунке 4.1. Пассивные элементы сети E-PON сосредоточены в оптической распределительной сети (также называемой внешней частью сети). К пассивным компонентам в данном случае следует относить:

- одномодовый волоконно-оптический кабель;
- оптические разветвители;
- соединители;
- сростки.

Активные сетевые элементы, такие как ОЛО и многочисленные ОСБ, расположены на оконечных пунктах ОРС, то есть в центральном узле и на стороне абонента. Оптические сигналы либо разветвляются на несколько, либо, наоборот, объединяются в один в разветвителях в зависимости от направления распространения световой волны вдоль ОРС. Типичная схема построения сети на технологии E-PON – разветвленное дерево с пассивными элементами.

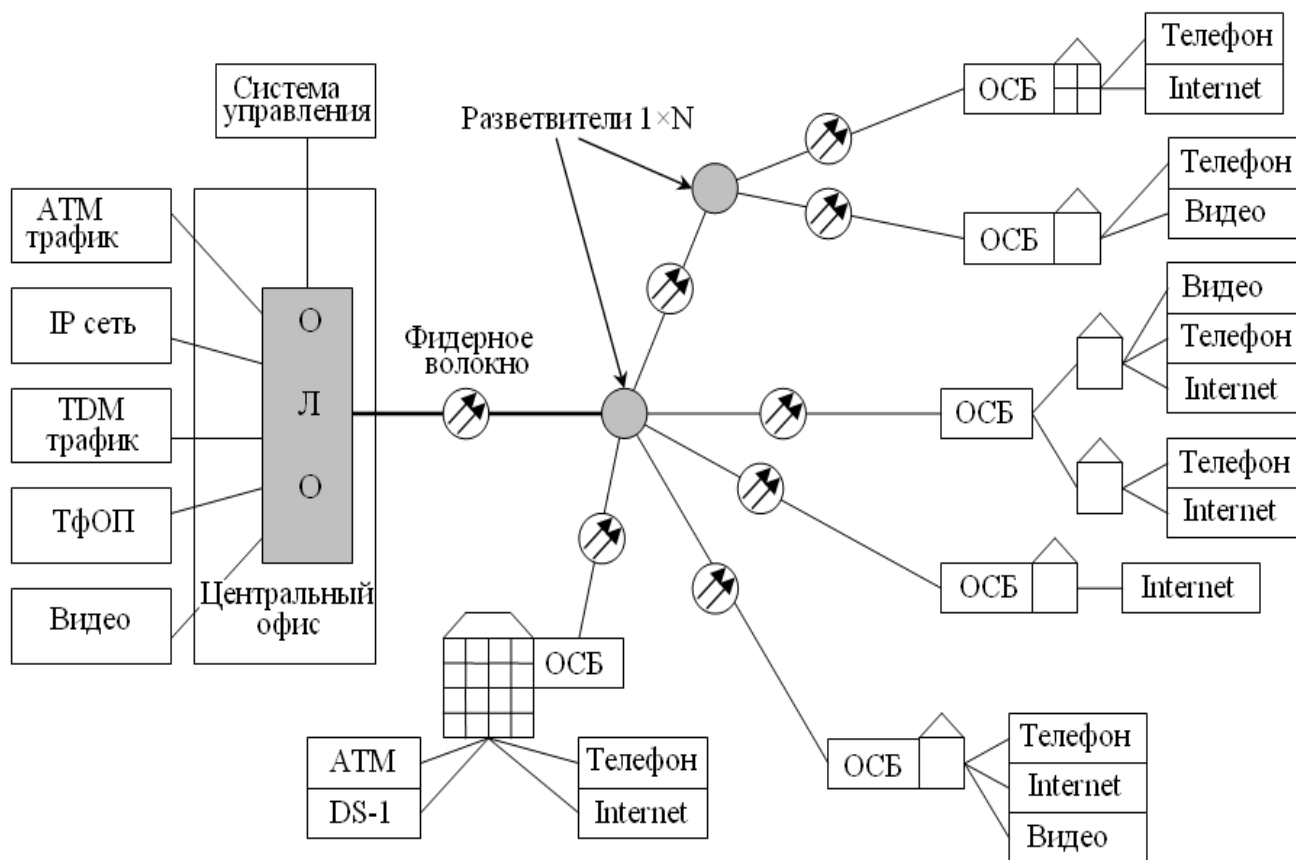
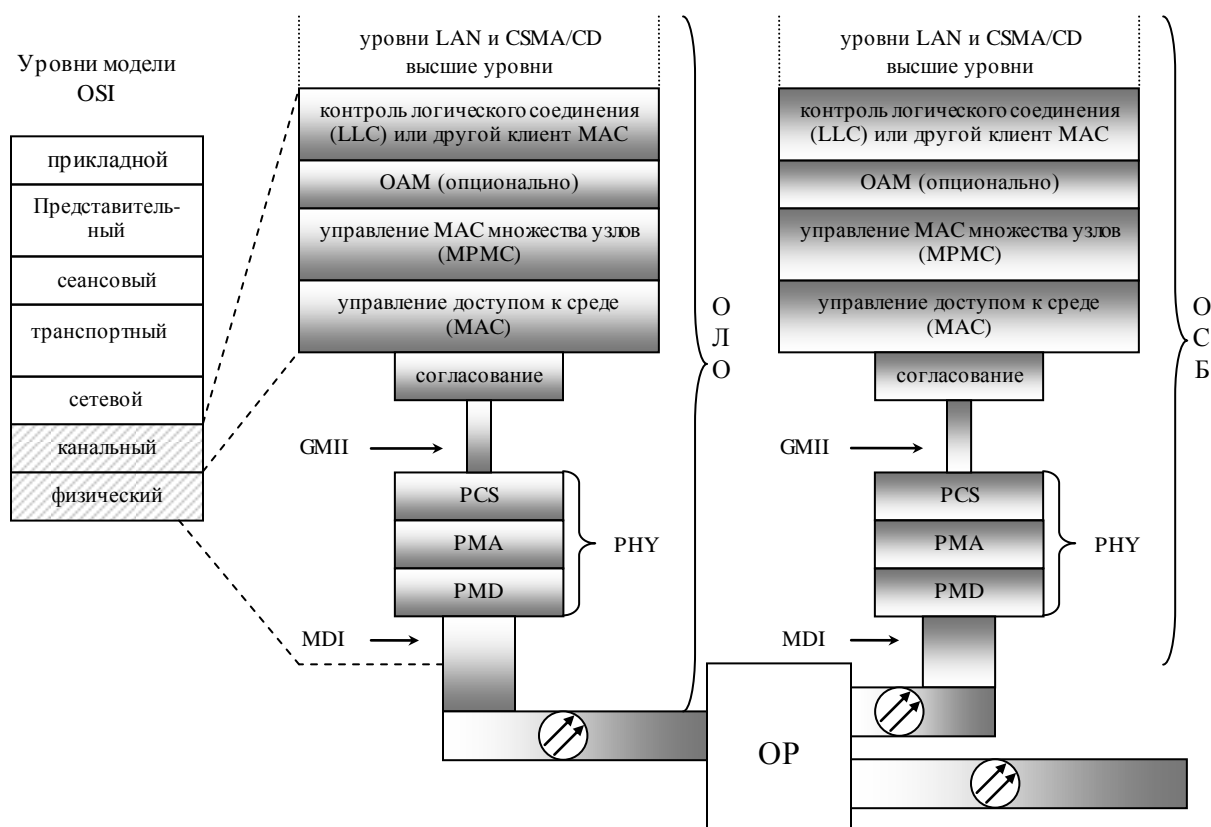


Рис. 1.7. Топология сети E-PON

Архитектура стандарта E-PON. Стандарт Ethernet на сетях доступа в рамках IEEE 802.3ah сочетает в себе набор минимально необходимых расширений к подуровням управления доступом к среде (MAC), контроля MAC (входящих в стандарт IEEE 802.3) и набор физических уровней. Физический уровень включает в себя подуровень, зависимый от физической среды передачи (PMD). Для сети E-PON стандарт также предусматривает подуровень согласования, специфичные подуровни PMD, поддерживающие топологию «точка-многоточка» (P2MP), и расширения к уровням контроля MAC. Также в стандарт входит механизм управления, контроля и администрирования (OAM) сети для диагностики и исправления неисправностей. Принцип взаимодействия между данными элементами стандарта и моделью взаимодействия открытых систем (OSI – Open System Interconnection) изображен на рисунке 1.8



GMII – Гигабитный интерфейс.
 MDI – интерфейс, зависящий от
 OAM – управление, контроль и
 ОЛО – оптическое линейное
 ОСБ – оптический сетевой блок
 ОР – оптический разветвитель

PCS – подуровень физического
 PHY – оборудование физического
 PMA – приложение к физической
 PMD – уровень, зависящий от
 физической среды

Рисунок 1.8 Положение топологии P2MP в рамках модели OSI

Для волоконно-оптической топологии P2MP стандарт определяет номинальную битовую скорость 1000 Мбит/с, разделяемую между множеством ОСБ, входящих в топологию. Оборудование физического уровня использует подуровни физического кодирования (PCS) 1000BASE-X и подключения к физической среде доступа (PMA).

Принцип действия E-PON. Главным отличием сетей E-PON от других технологий пассивных оптических сетей является то, что по оптическому тракту передачи распространяются кадры непосредственно формата Ethernet. Это

является также и основным преимуществом технологии, так как это позволяет избежать фрагментации пакетов трафика Ethernet и перепаковывания этих пакетов в ячейки АТМ (что и происходит в сетях А/В-PON, G-PON). Наглядно, это преимущество отражено на рисунке 1.9.

Передача пакетов в сети E-PON осуществляется в двух направлениях: от центрального узла ОЛО к абонентским узлам ОСБ – нисходящий поток и от ОСБ к ОЛО – восходящий поток.

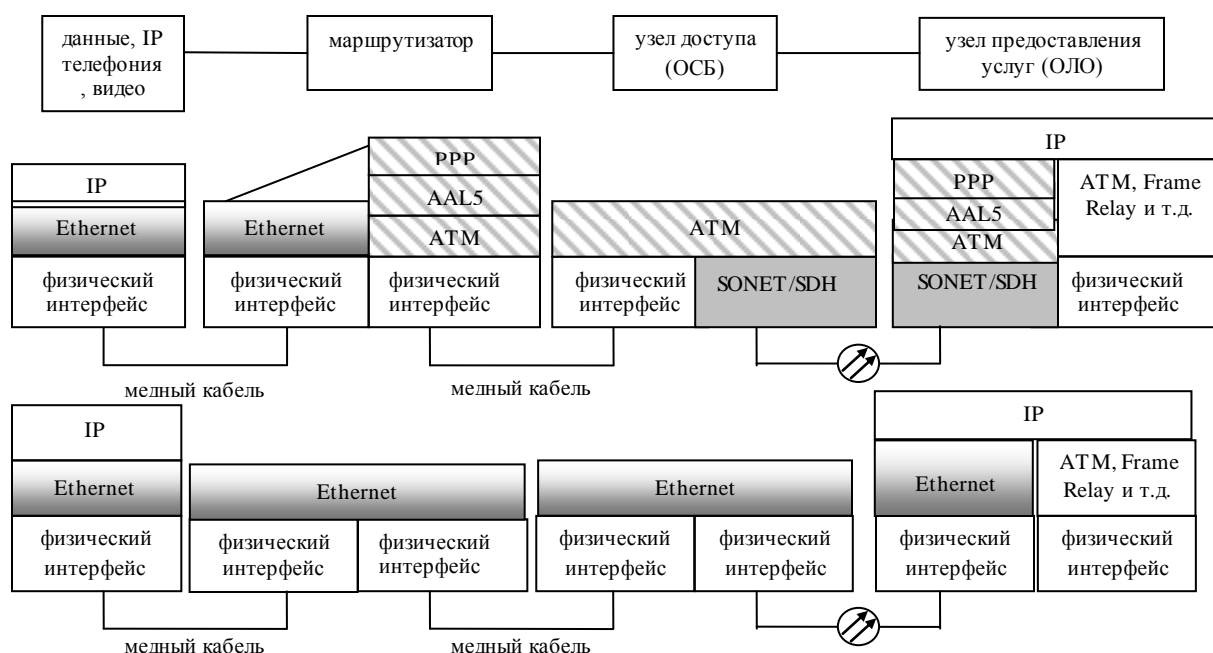
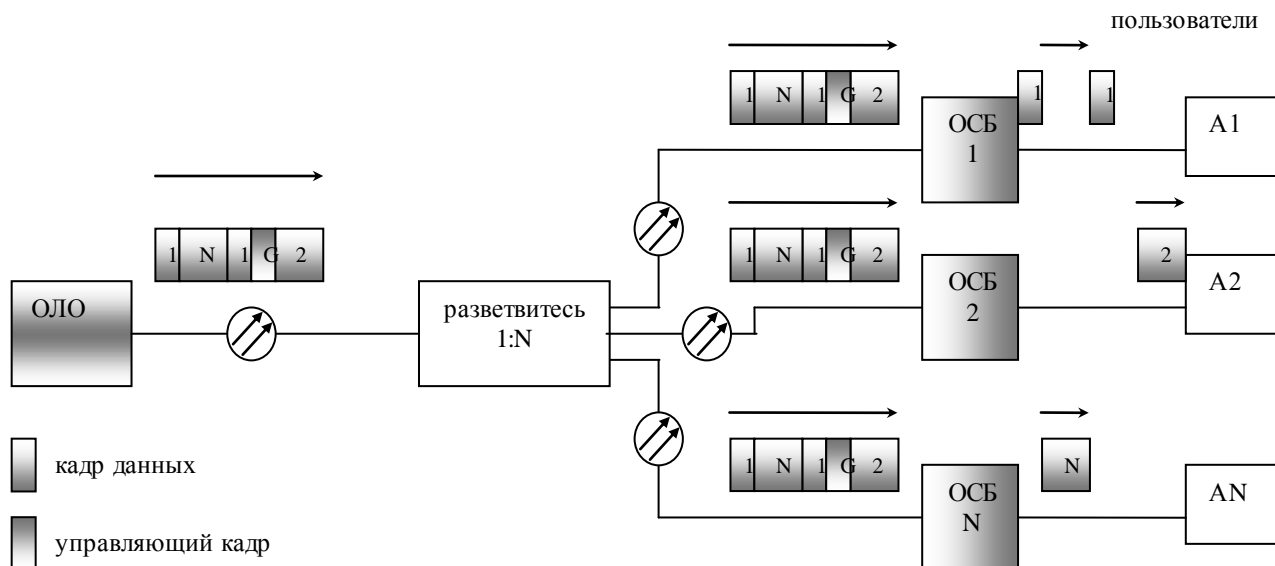


Рис. 1.9. Преобразования трафика в оптических сетях доступа

Прямой (нисходящий) поток формируется из кадров Ethernet 802.3, передаваемых ОЛО. Затем нисходящий поток проходит через разветвитель 1: N и принимается узлами ОСБ. В стандарте для передачи нисходящего потока используется длина волны 1490 нм. На длине волны 1550 нм возможно организовать широковещательную передачу цифрового видео-потока (кабельное телевидение). Передача данных в прямом потоке аналогична передаче данных в сети Ethernet с общей шиной, когда передаваемый одной станцией сигнал принимается всеми остальными станциями и извлекается ими в соответствии с указанным MAC-адресом назначения.

Обратный (восходящий) поток формируется потоками данных от различных

ОСБ на длине волны 1310 нм (рис. 1.10). В силу специфики пропускания



оптического сигнала разветвителем, данные, отправленные узлом ОСБ, получает только ОЛО. Таким образом, в обратном направлении сеть E-PON аналогична совокупности соединений «точка-точка». Однако в отличие от истинной архитектуры «точка-точка», сеть E-PON нуждается в специальном методе управления, который следил бы за тем, чтобы не было коллизий потоков от разных ОСБ. Поэтому в E-PON, равно как и в любой другой архитектуре ПОС, центральный узел ОЛО должен делить всю полосу обратного потока между всеми ОСБ и выполнять функцию диспетчера, указывая различным ОСБ в какое время разрешена передача.

Реализация в E-PON для распределения полосы обратного потока между ОСБ метода управления обратным потоком на основе механизма множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий или конфликтов (CSMA/CD - Carriers-Sens Multiple Access with Collision Detection) не эффективна по нижеследующим причинам:

-размер коллизионного домена в сопоставимом по скорости передачи стандарте Gigabit Ethernet составляет сотню метров, что неприемлемо для сети E-PON с радиусом до 20км;

-управление каналом, основанное на механизме CSMA/CD, не смогло бы гарантировать определенные временные задержки и обслуживать ВРК трафик (голос, видео), иными словами обеспечить требуемый уровень качества передаваемых услуг.

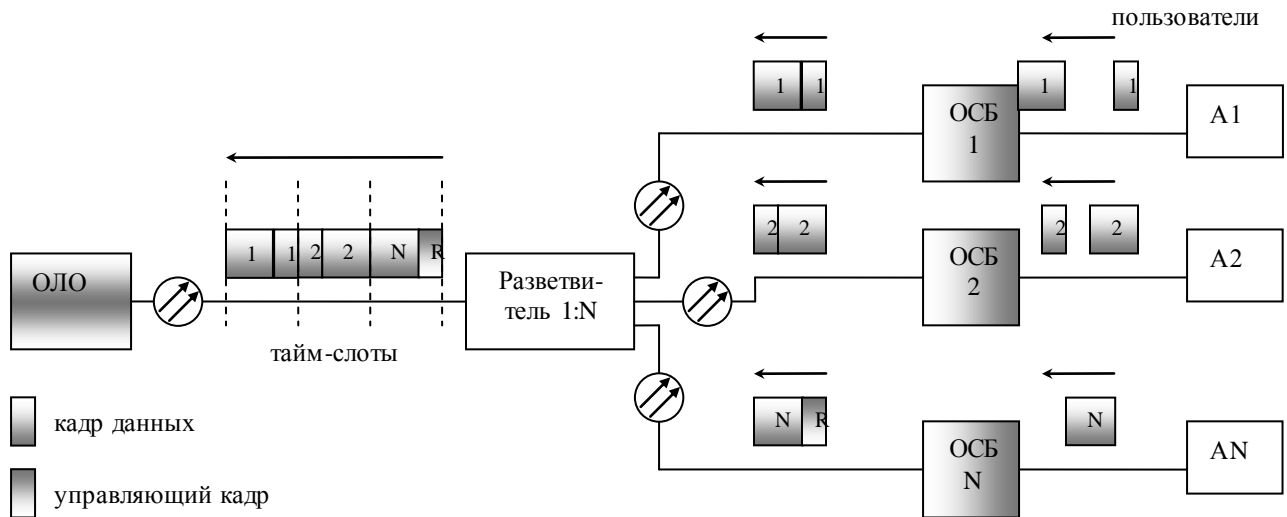


Рис. 1.10. Восходящий поток E-PON

Для обеспечения детерминированной доставки кадров в восходящем потоке нельзя было использовать схему, основанную на механизме разрешения коллизий. Коллизии в нормальном режиме работы, т.е. когда передаются данные, следовало бы полностью исключить. Таким решением стал протокол управления множеством узлов (МРСР). Для работы протокола потребовались дополнительные служебные кадры, которыми обмениваются ОЛО и ОСБ, и которые не выходят за пределы сети E-PON.

Все ОСБ путем передачи служебных кадров синхронизируются по единой временной шкале центрального узла ОЛО. Отправка данных абонентскими узлами осуществляется в разрешенные интервалы времени, длина которых определяется планировщиком расписания на ОЛО. В этих временных интервалах может помещаться один или несколько кадров Ethernet. До тех пор, пока не получено разрешение на отправку временного интервала, ОСБ

накапливает кадры, полученные от рабочих станций абонентов.

1.5. Технология G-PON

Общие характеристики технологии G-PON. G-PON (Gigabit-capable Passive Optical Network) - это технология пассивных оптических сетей доступа, которая является модификацией технологии A-PON. Как и всем технологиям PON ей свойственно то, что при построении оптической сети доступа на основе этой технологии также используются только пассивные компоненты, которые рассматривались в предыдущих главах. Технология G-PON поддерживает все существующие сервисы, что делает ее привлекательной для задач бизнеса и при решении проблемы «последней мили» у конечного пользователя. Она поддерживает такие услуги, как высокоскоростной Ethernet, цифровая телефония, передача высококачественных телевизионных каналов и т.д. Технология G-PON поддерживает 7 комбинаций скоростей для восходящего и нисходящего потоков.

Это позволяет эффективно использовать те скорости, которые заложены в данную технологию. Например, для задач бизнеса может использоваться технология FTTH или FTTB с высокой скоростью как на передаче, так и на приеме, если же на сети доступа планируется использование технологий xDSL, то в зависимости от конкретной ситуации резоннее использовать меньшие скорости.

Максимально возможное расстояние между OLT и ONT/ONU составляет 20 км. Это ограничение связано со средой распространения оптического сигнала, а не логическим ограничением технологии G-PON. При расстоянии в 10 км между OLT и ONT/ONU технология гарантирует скорости от 1.25 Гбит/с и выше. Логическое ограничение дальности действия технологии G-PON составляет 60 км.

С учетом нынешних реалий немаловажным становится и то, что технология G-PON располагает механизмами защиты, которые позволяют избежать возможность несанкционированного подключения к сети G-PON. Данные

обратного потока шифруются, что позволяет избежать возможности быстрого получения информации злоумышленником. В технологии предусмотрены механизмы, защищающие сеть от возможного появления «двойников» ONU, то есть возможности маскировки одного ONU под другой и, как следствие, получения им чужой информации.

Оптические сети доступа на основе технологии G-PON могут иметь различные способы резервирования. Приведем способы резервирования, применяемые на сети G-PON:

1) резервирование волокон, по которым осуществляется передача оптического сигнала, смотри рисунок 1.11;

2) использование второго блока OLT в качестве резервного, плюс использование резервного волокна в направлении от OLT к разветвителю, смотри рисунок 1.12;

3) полное дублирование блоков OLT и ONU на передающей и принимающей сторонах, смотри рисунок 1.13.

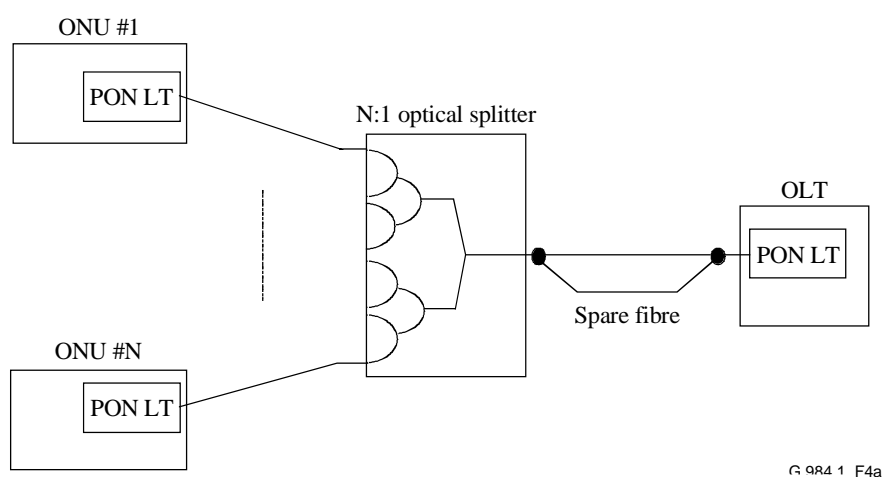


Рисунок 1.11. Резервирование оптического волокна, соединяющего OLT с оптическим разветвителем

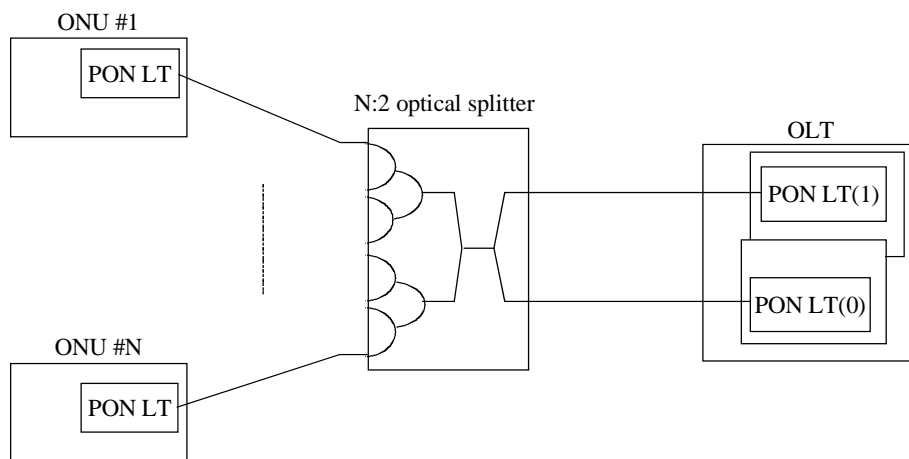


Рисунок 1.12. Резервирование оптического волокна, соединяющего OLT с оптическим разветвителем и самого OLT

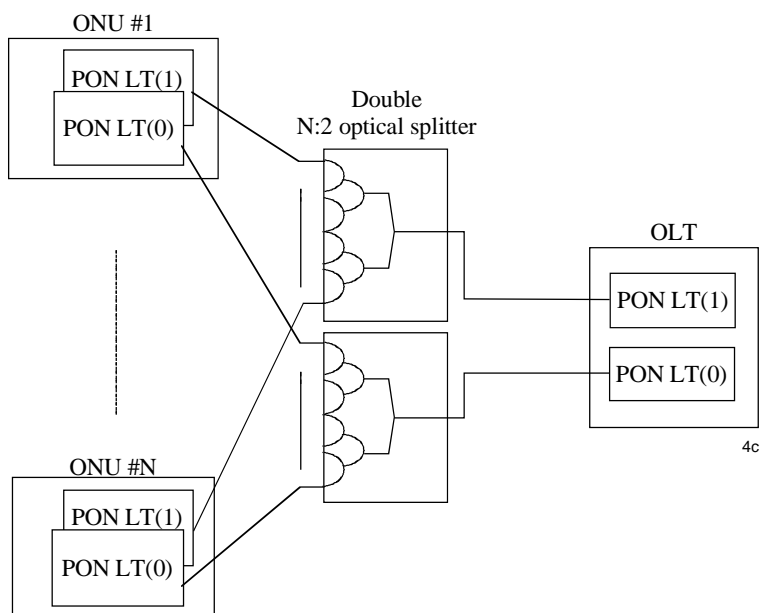


Рисунок 1.13. Резервирование оптического волокна, соединяющего OLT с оптическим разветвителем, OLT и ONU

Переключение на запасной вариант может быть осуществлено двумя способами:

- автоматическое переключение на запасной вариант;
- принудительное переключение на запасной вариант.

В первом случае переключение происходит в случае резкого ухудшения характеристик оптического сигнала, потеря кадров, потеря самого сигнала. Второй вариант осуществляется с помощью администратора сети, который осуществляет контроль за характеристиками работы системы, и принимает решение о переходе на резервный вариант.

Вопросы защиты информации в сетях G-PON. Основной особенностью всех PON сетей является то, что нисходящий поток достигает все оптические сетевые блоки (ONU), подключенные к сети. Злоумышленник после некоторых манипуляций с перепрограммированием ONU может добиться того, что будет получать информацию, адресованную другим пользователям. Система безопасности PON сетей как раз должна уметь противостоять такого рода угрозам, как «прослушивание». Конечно, существуют и другие специфические виды угроз, но они не будут рассматриваться в этой главе, так как требуют больших затрат и, следовательно, мало применимы.

Другая особенность сети PON состоит в том, что пользователь одного ONU никаким образом не может получить передаваемую информацию пользователем другого ONU. Это обстоятельство позволяет передавать в восходящем потоке шифро-ключи и другую важную информацию без необходимости предварительного шифрования этих данных.

Основной алгоритм шифрования, использующийся в технологии G-PON – это расширенный стандарт криптозащиты (AES - Advanced Encryption Standard). Этот алгоритм шифрования относится к виду так называемых блочных кодов, который обрабатывает блоки данных длиной 16 байт. Данный алгоритм поддерживает длину шифр-ключа в 128, 192 и 256 битов.

Стандарт AES поддерживает несколько режимов шифрования данных, однако в технологии G-PON используется только один из них. Он получил название «шифрование со счётчиком» Counter Mode (CTR). Шифратор создает поток, состоящий из 16 байтных псевдослучайных шифроблоков. По заданному алгоритму шифроблоки взаимодействуют с входной нешифрованной информацией в результате чего на выходе получается зашифрованная

информационная последовательность. На приемной стороне происходит обратная операция, в которой участвуют те же самые шифроблоки и зашифрованная информационная последовательность. В результате получается исходная нешифрованная информационная последовательность. В технологии G-PON стандартным ключом является ключ длиной 128 битов, хотя могут поддерживаться и ключи большей длины.

В технологии «шифрование со счётчиком» Counter mode (CTR) используется синхронный крипто-счетчик, который является общим как для оптического линейного окончания (OLT), так и для оптического сетевого блока (ONU). Крипто-счетчик имеет длину 46 битов и состоит из 2х частей. Старшие 30 бит представляют собой межкадровый счетчик (inter-frame counter), а младшие 16 бит внутрикадровый счетчик (intra-frame counter).

Внутрикадровый счетчик обнуляется в начале нисходящего кадра и увеличивается после каждых четырех байт. Например, при скорости 1.244 Гбит/с счетчик будет принимать значения от 0 до 4859.

Межкадровый счетчик аналогичен счетчику сверхциклов, который располагается в поле Ident PCBd блока. Оптический сетевой блок (ONU) осуществляет синхронизацию локального счетчика и, следовательно, имеет возможность исправлять ошибки, возникающие в этом поле.

Начала блоков, содержащих псевдослучайную шифропоследовательность, выравниваются по положению с началом блока полезной нагрузки. В случае, если в блоке полезной нагрузки располагается АТМ трафик, в результате выполнения операции «исключающее или» (XOR) зашифрованными оказывается 48 байт исходной полезной информации. Как известно, АТМ ячейка имеет длину 53 байта, а 48 байт, о которых речь шла выше, соответствуют 3-м целым блокам шифропоследовательности. В результате операции «исключающего или» мы и получаем, что 48 байт информации становятся зашифрованной.

В случае, если полезная нагрузка представлена в виде GEM фрагментов, шифруется вся информация блока полезной нагрузки за исключением заголовка

Port-ID. Так как количество GEM фрагментов не соответствует целому числу блоков с шифропоследовательностью, то оставшаяся часть кодируется с помощью старших битов последнего блока с шифропоследовательностью, оставшаяся часть шифроблока отбрасывается.

Надо отметить также, что крипто счетчик выравнивается с блоком GTC нисходящего потока, тогда как блоки с шифропоследовательностью выравниваются с блоком, переносящим информацию от пользователя. Это иллюстрирует рисунок 1.14.

Когда датаграмма отправляется OLT или принимается ONU, то в ней содержится информация о первом байте заголовка. В первом байте заголовка находится значение криптосчетчика. Для конкретной датаграммы это значение используется в качестве начального значения счетчика шифроблоков. Для последующих шифроблоков в той же датаграмме счетчик увеличивается на 1 для каждого последующего. Такая организация счетчиков приводит к тому, что значение счетчика никогда не повторяется два раза. 46-ти битное значение блока криптосчетчика управляет 128 битами AES последовательности по следующему алгоритму. 46 бит повторяются 3 раза, в итоге получается 138 битная последовательность, 10 первых бит которой отбрасываются. Полученные 128 бит информации подвергаются обработке AES алгоритма, в результате чего получается случайная шифропоследовательность, которая потом взаимодействует с блоками данных.

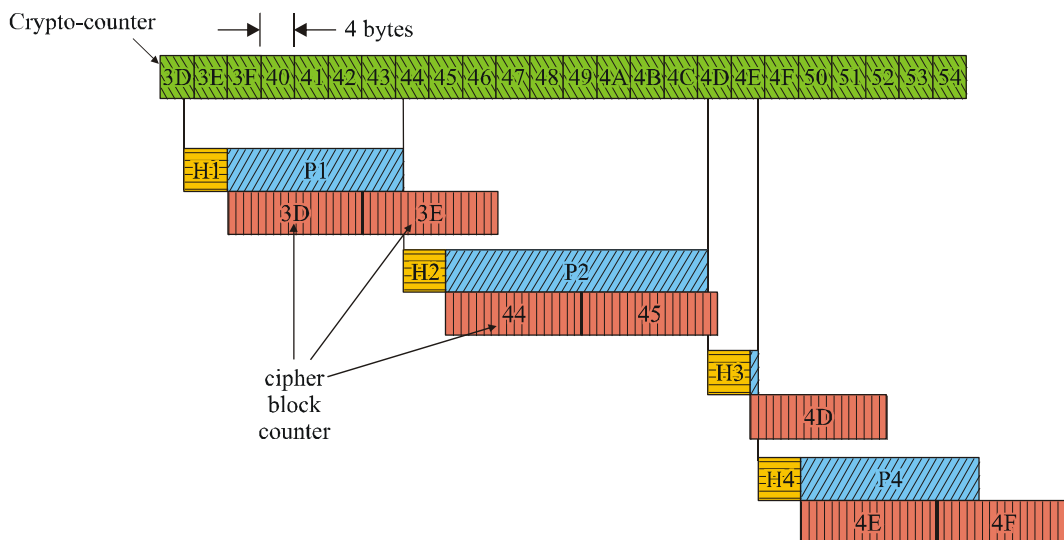


Рисунок 1.14. Взаимосвязь между последовательностью криптосчетчика и шифроблока

Рассмотрим вопрос обмена ключами в сети G-PON. Будем считать, что у нас имеется OLT и ONU, которые при взаимодействии используют либо Port-ID, либо VPI и готовы для обмена ключами. Как ONU, так и OLT используют специальные регистры, в которых содержится информация о ключах.

Процесс обмена ключами инициируется OLT. Со стороны OLT отправляется сообщение <запрос ключа> <key_request_message> внутри канала PLOAM. Действие ONU на этот запрос заключается в создании, сохранении и отправке ключа OLT. ONU сохраняет у себя ключ в так называемом <теновом регистре> <shadow_key_register>. Поскольку длина PLOAM сообщения ограничена по длине, то ключ отправляется в 2х PLOAM сообщениях. Для увеличения надежности обе части шифроключа отправляются 3 раза. Все ключи или части этих ключей имеют параметр Key_Index, таким образом на приемной стороне OLT имеет однозначную информацию какой ключ или какая часть ключа к нему пришла. Данный параметр - Key_Index увеличивается для каждого следующего ключа, создаваемого ONU в ответ на запрос со стороны OLT.

Если OLT не удастся принять какую-либо часть ключа во всех трех послышках, то OLT создает новое сообщение <key_request_message>, отправляемое на ONU. Если OLT в течении последующих трех раз так и не

сможет получить шифроключ, то создается сообщение о потере синхронизации при передаче ключей.

Как только OLT удастся получить шифроключ, он сразу же сохраняет его в своем <теневого регистре> <shadow_key_register>. После этого система готова к переключению ключами. OLT выбирает номер кадра, который в будущем будет обрабатываться новым ключом. Эта информация передается ONU в сообщении Key_switching_time. Это сообщение также передается на ONU три раза, последнему ее нужно только правильно получить, чтобы вовремя сменить ключ. В начале выбранного кадра OLT и ONU копируют содержимое <теневого регистров> в <активные регистры> active_key_register. В этом случае ONU и OLT начинают использовать новые ключи.

Система управления и контроля объектами сети G-PON. Для контроля и управления и для того, чтобы обеспечивалась совместимость оборудования для сетей G-PON различных производителей, был разработан OMCI интерфейс (ONT Management and Control Interface). На рисунке 1.15. показана эталонная модель оптической сети доступа, которая аналогична схеме на рис. 1.6.

Пунктирной линией показан маршрут прохождения сигналов управления и взаимодействия между оптическим сетевым блоком ONT и оптическим линейным окончанием OLT.

С помощью интерфейса контроля и управления (OMCI) оптическое линейное окончание OLT осуществляет контроль над оптическим сетевым окончанием ONT. OLT могут быть произведены следующие действия:

- установка, разрыв соединения с ONT;
- управление пользовательскими сетевыми интерфейсами (UNI) на стороне ONT;
- получение информации о конфигурации ONT и информацию о производительности работы;
- информирование оператора об ошибках в соединениях.

В качестве транспорта протокол OMCI использует либо GEM, либо ATM трафик и обмен OMCI трафиком происходит между контроллерами на стороне

OLT и ONT. Особенностью OMCI протокола является то, что он асимметричный. Контроллер на стороне OLT является ведущим, а контроллер на стороне ONT является ведомым.

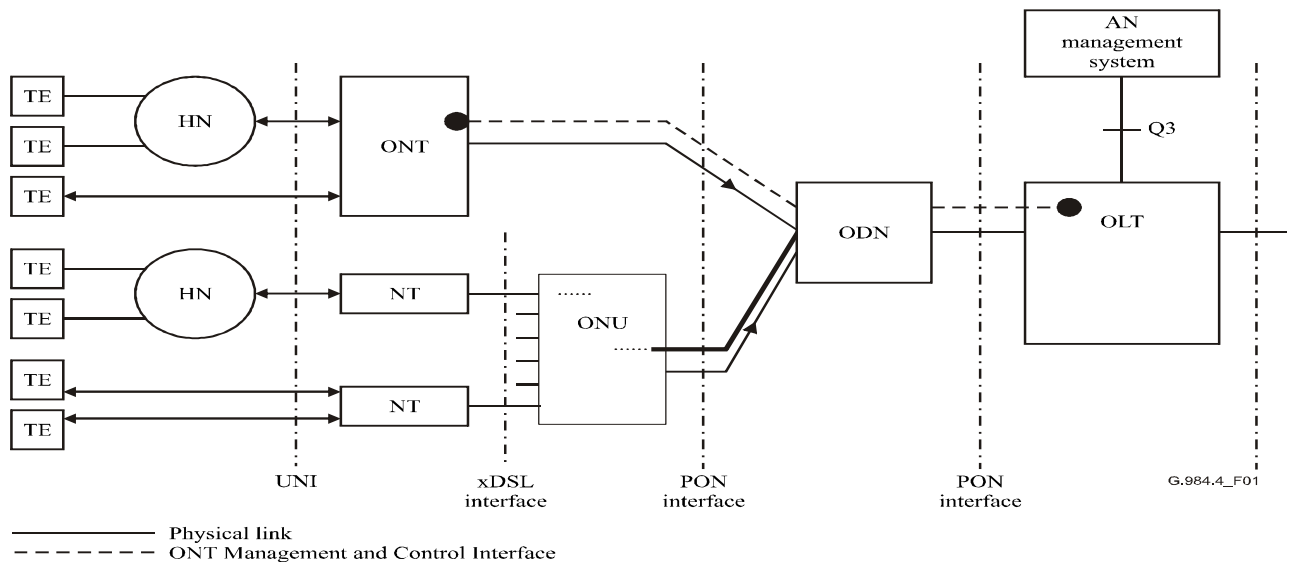


Рис. 1.15. Эталонная модель оптической сети доступа

OMCI контроллер на стороне OLT позволяет осуществлять контроль за многими ONT. В соответствии с общими принципами управления, изложенными в разделах 1 и 3 система управления и контроля G-PON охватывает ниже следующие функциональные области:

- область управления конфигурацией;
- область управления устранением неисправностей;
- область управления качеством передачи;
- область управления расчетами;
- область управления защитой информации.

Область управления конфигурацией включает в себя такие обязанности, как конфигурирование оборудования, конфигурирование сетевых пользовательских интерфейсов (UNI), организация каналов, выбор скорости передачи и некоторые дополнительные функции.

Область управления ошибками позволяет контролировать ошибки, возникающие при передаче информации в различных узлах сети в восходящем и нисходящем потоках, информировать оператора о статусе ошибок и т.д., с

помощью специальных алгоритмов выявить место возникновения ошибок и др.

Область управления качеством передачи включает в себя постоянный мониторинг работы системы, проведение автоматических проверок. Отслеживается качество электропитания, временные задержки, количество ошибок в сети, отслеживается состояние среды передачи оптического сигнала.

Область управления безопасностью отвечает за сохранение целостности и защищенности информации. Здесь осуществляется шифрование данных, обмен ключами и некоторые другие функции.

Проблема сетей PON. Одним из, пожалуй, наиболее серьезных недостатков PON является незащищенность обратного канала от неисправности оборудования или действий злоумышленников. На канальном уровне проблемы практически решены, необходимые защиты обеспечиваются современными алгоритмами шифрования данных.

На физическом — неисправность лазера обратного канала или контроллера этого лазера может вывести из строя всю систему. В принципе, такие случаи предусмотрены и отслеживаются системами управления, а включившийся по странному стечению обстоятельств на непрерывную передачу лазер может быть отключен обыкновенным «сторожевым псом» — watchdog'ом, присматривающим за тем, чтобы лазер не превышал отведенных ему временных интервалов.

Куда серьезнее могут быть последствия действий злоумышленников: для нарушения (или даже прекращения) работы всего сегмента PON-сети достаточно засветить лазером в любое из абонентских окончаний или даже просто подключить к нему любое активное сетевое устройство. По сути, это является недостатком всех сетей множественного доступа, использующих общий канал передачи данных. Правда, в случае PON задача диагностики и поиска злоумышленника существенно усложняется, в особенности, если проектом не предусмотрены контрольные точки для быстрой диагностики состояния сети. С другой стороны, такие контрольные точки могут в значительной мере свести на нет основные преимущества PON. Ведь оптические разветвители могут быть

размещены в герметически защищенных муфтах, а любой разъем вносит дополнительные потери в и без того ограниченный бюджет потерь (как правило, составляющий около 25–26 дБ).

Однако для технологий широкополосного доступа (например, в случае применения G-PON) большая пропускная способность абонентских окончаний позволяет использовать их для организации коллективных подключений и реализации двух вариантов волоконного доступа — Fiber To The Curb и Fiber To The Building. В первой — активное оборудование размещается в защищенных шкафах всепогодного исполнения, обслуживающих несколько зданий. Во второй — в помещениях внутри здания или шкафах, в значительной мере ограничивающих несанкционированный доступ к аппаратуре.

Соответственно, абонент получает свои данные по традиционным двухточечным соединениям и вряд ли может быть заинтересован в нарушении работы своего подключения, тем более что такие случаи легко диагностируются традиционными методами.

Преимущества G-PON по сравнению с другими технологиями PON. В настоящее время существуют четыре технологии PON, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками. Перечислим технологии: A-PON, B-PON, E-PON, G-PON. Одним из преимуществ технологии G-PON по сравнению с другими является максимальная скорость, на которой возможна передача информации. Отсюда она собственно и получила свое название G-PON (Gigabit PON). Следующей отличительной особенностью является широкий набор скоростей от 155 Мбит/с до 2488 Мбит/с, на которых может производиться передача как в восходящем, так и в нисходящем потоке, шифрование трафика с использованием крипто-алгоритма AES, что не позволяет злоумышленнику считывать трафик, адресованный кому-либо. Оборудование, реализующее технологию G-PON, может поддерживать 32/64/128 оптических сетевых блоков, а чем больше количество оптических сетевых блоков, тем выше рентабельность и более быстрая окупаемость сети в целом.

ВЫВОДЫ

По первой главе можно сделать следующие выводы:

-Одним из наиболее серьезных недостатков PON является незащищенность обратного канала от неисправности оборудования или действий злоумышленников.

-На канальном уровне проблемы практически решены.

-На физическом — неисправность лазера обратного канала или контроллера этого лазера может вывести из строя всю систему.

-Куда серьезнее могут быть последствия действий злоумышленников: для нарушения (или даже прекращения) работы всего сегмента PON-сети достаточно засветить лазером в любое из абонентских окончаний или даже просто подключить к нему любое активное сетевое устройство.

-Это является недостатком всех сетей множественного доступа, использующих общий канал передачи данных.

-Исходя из вышеизложенного, необходимо рассмотреть вопросы надежности сети оптического абонентского доступа и определить критерии оценки надежности.