

Тема 7

Технологии оптоволоконных сетей

Содержание темы

- Топологии оптоволоконных сетей.
- Методы коммутации.
- Режимы работы оптоволоконных сетей.
- Структура волоконно-оптической сети связи.
- Модель OSI.
- Локальные волоконно-оптические сети.
- Оптоволоконные сети на основе семейства технологий Ethernet.
- Оптические сети на базе технологии SDH.
- Оптические сети на базе технологии DWDM.
- Семейство технологий xPON.

Топологии оптоволоконной сетей

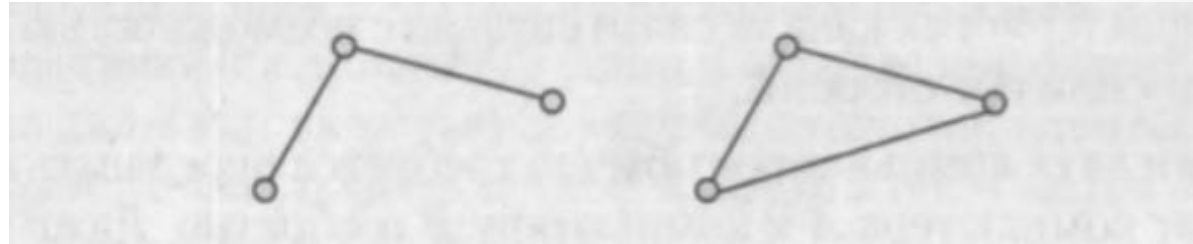
Объединяя в сеть несколько (больше двух) узлов, необходимо решить, каким образом соединить их друг с другом, другими словами, выбрать конфигурацию физических связей, или топологию.

Под **топологией сети** понимается конфигурация графа, вершинам которого соответствуют конечные узлы сети (например, компьютеры) и коммуникационное оборудование (например, маршрутизаторы), а ребрам - физические или информационные связи между вершинами.

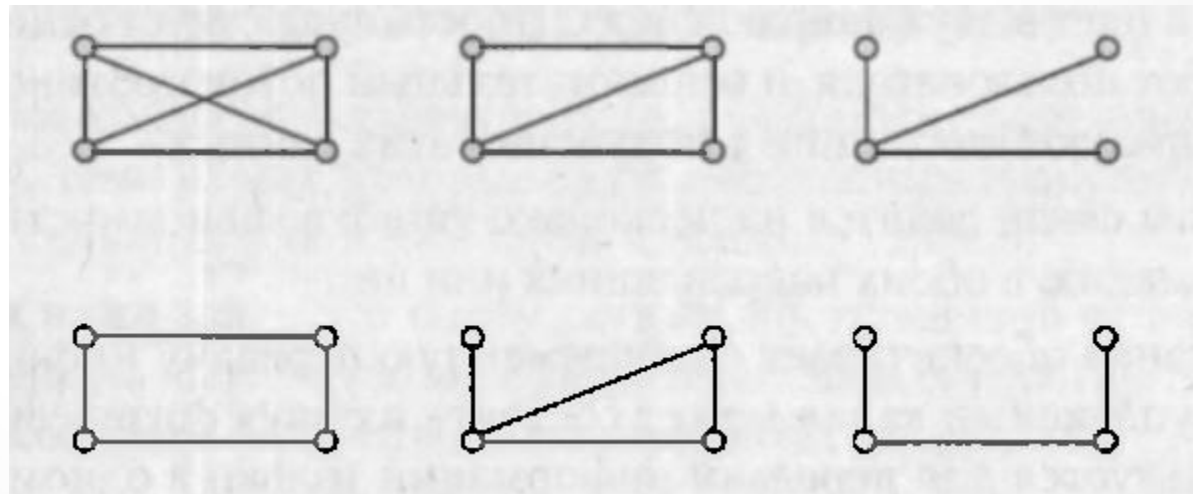
Топологии ОПТОВОЛОКОННОЙ СЕТЕЙ

Число возможных вариантов конфигурации резко возрастает при увеличении числа связываемых узлов.

3 узла:



4 узла:



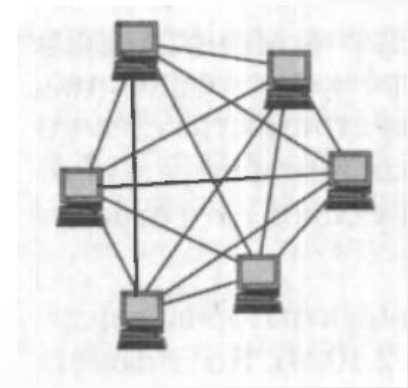
Топологии оптоволоконной сетей

Общее максимальное количество соединительных линий между устройствами рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{N \cdot (N - 1)}{2}$$

где N – количество узлов сети;
 L – количество соединительных линий.

Такая топология называется **полносвязной**.
При увеличении числа узлов резко возрастает количество соединительных линий. **Это экономически не эффективно!**



$$N = 6; L = 15.$$

Топологии оптоволоконных сетей

От выбора топологии связей существенно зависят характеристики сети.

Наличие между узлами нескольких путей повышает **надежность** сети и делает возможным распределение загрузки между отдельными каналами.

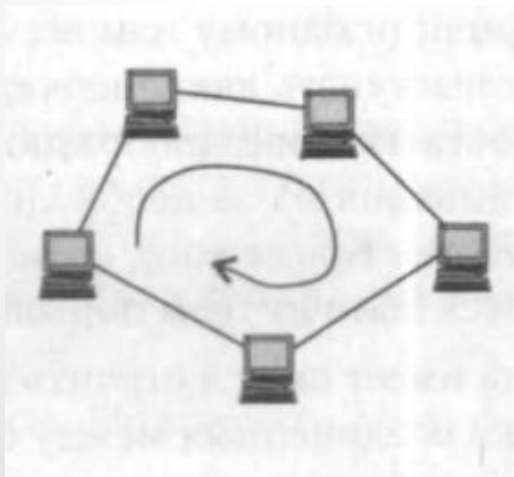
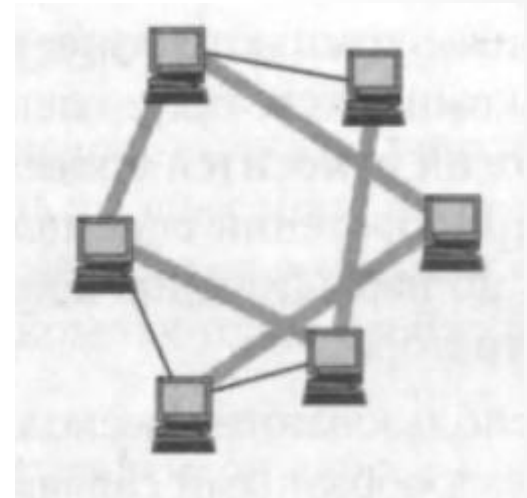
Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть **легко расширяемой**.

Экономические соображения часто приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина линий связи.

Топологии оптоволоконных сетей

Базовые топологии телекоммуникационных сетей:

Ячеистая топология получается из полностью связанной путем удаления некоторых связей. Она допускает соединение большого количества узлов и характерна, как правило, для крупных сетей.

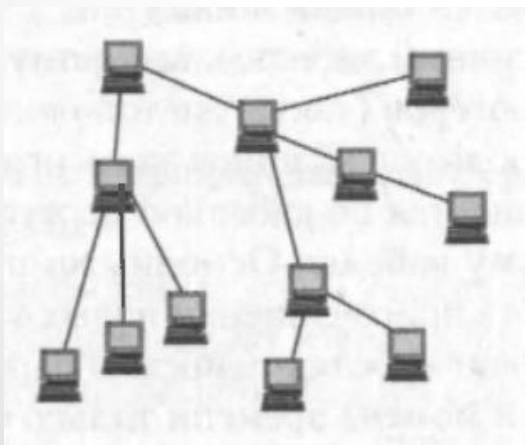
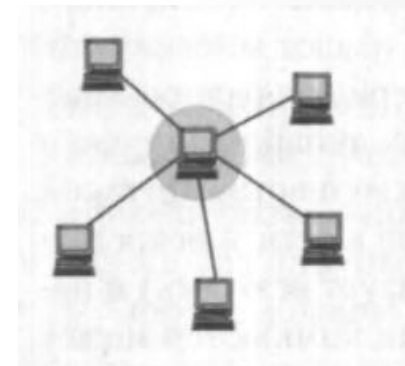


В сетях с **кольцевой топологией** данные передаются по кольцу от одного узла к другому. Главным достоинством кольца является то, что оно по своей природе обеспечивает резервирование связей.

Топологии оптоволоконной сетей

Базовые топологии телекоммуникационных сетей:

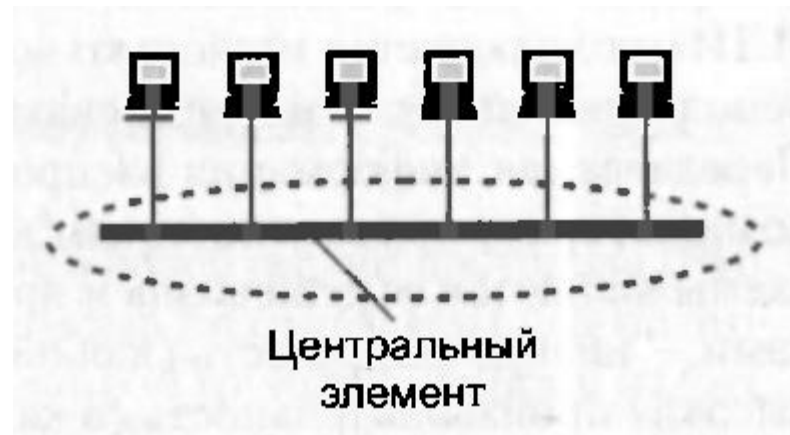
Звездообразная топология образуется в случае, когда каждый узел сети подключается непосредственно к общему центральному устройству, называемому **концентратором (Hub)**.



Иногда имеет смысл строить сеть с использованием нескольких концентраторов, иерархически соединенных между собой звездообразными связями. Получаемую в результате структуру называют **иерархической звездой**, или **деревом**.

Топологии оптоволоконной сетей

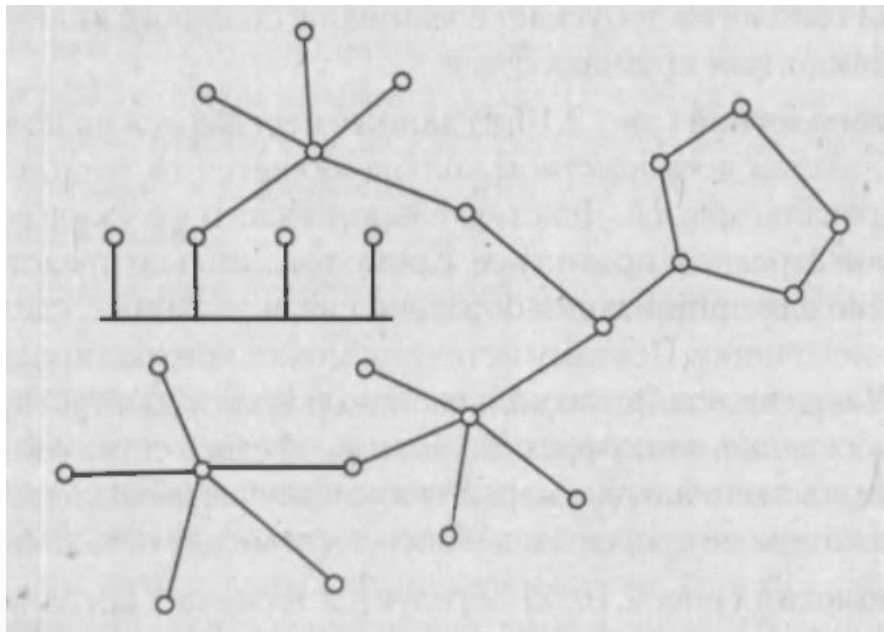
Базовые топологии телекоммуникационных сетей:



Особым частным случаем звезды является **общая шина**. Здесь в качестве центрального элемента выступает пассивный кабель, к которому по схеме «монтажного ИЛИ» подключается несколько компьютеров (такую же топологию имеют многие сети, использующие беспроводную связь - роль общей шины здесь играет общая радиосреда).

Топологии ОПТОВОЛОКОННЫХ сетей

Для крупных сетей характерно наличие произвольных связей между узлами. В таких сетях можно выделить отдельные произвольно связанные фрагменты (подсети), имеющие типовую топологию, поэтому их называют сетями со **смешанной топологией**.



Методы коммутации

Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в своей совокупности составляет основу любой сетевой технологии.

К этим частным задачам относятся:

- определение потоков и соответствующих маршрутов;
- фиксация маршрутов в конфигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств;
- распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства;
- мультиплексирование/демультиплексирование потоков;
- разделение среды передачи.

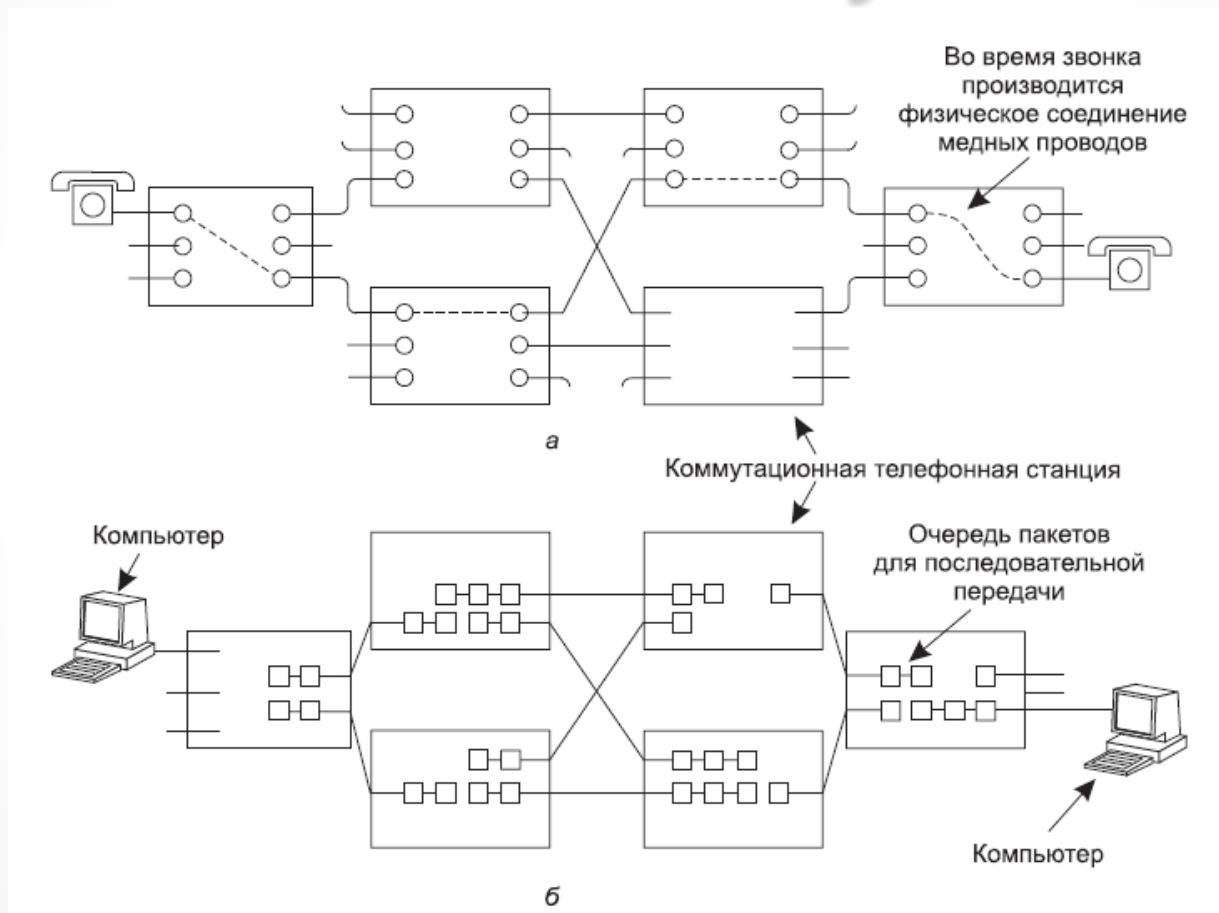
Методы коммутации

Среди множества возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих, к которым относят:

- **коммутацию каналов;**
- **коммутацию пакетов.**

Каждый из этих двух подходов имеет свои достоинства и недостатки. Существуют традиционные области применения каждой из техник коммутации, например, телефонные сети строились и продолжают строиться с использованием техники коммутации каналов, а компьютерные сети в подавляющем большинстве основаны на технике коммутации пакетов.

Методы коммутации



Коммутация каналов (а) и пакетов (б)

Коммутация каналов

Принципы коммутации каналов

- 1) Глобальным признаком потока является пара адресов (телефонных номеров) абонентов, связывающихся между собой.
- 2) Для всех возможных потоков заранее определяются маршруты. Маршруты в сетях с коммутацией каналов задаются либо «вручную» администратором сети, либо находятся автоматически с привлечением специальных программных и аппаратных средств.
- 3) Маршруты фиксируются в таблицах, в которых признакам потока ставятся в соответствие идентификаторы выходных интерфейсов коммутаторов.

Коммутация каналов

Продвижение данных в сетях с коммутацией каналов происходит в два этапа:

1. В сеть поступает служебное сообщение – запрос, который несет адрес вызываемого абонента и организует создание составного канала.
2. По подготовленному составному каналу передается основной поток данных, для передачи которого уже не требуется никакой вспомогательной информации, в том числе адреса вызываемого абонента. Коммутация данных в коммутаторах выполняется на основе локальных признаков – номеров элементарных каналов.

Коммутация каналов

Сети с коммутацией каналов наиболее эффективно передают пользовательский трафик в том случае, когда скорость его **постоянна в течение всего сеанса связи** и максимально соответствует **фиксированной** пропускной способности физических линий связи сети.

Эффективность работы сети снижается, когда информационные потоки, генерируемые абонентами, приобретают **пульсирующий** характер, характерный для компьютерных сетей.

Коммутация пакетов

Важнейшим принципом функционирования сетей с **коммутацией пакетов** является представление информации, передаваемой по сети, в виде структурно отделенных друг от друга порций данных, называемых **пакетами**.

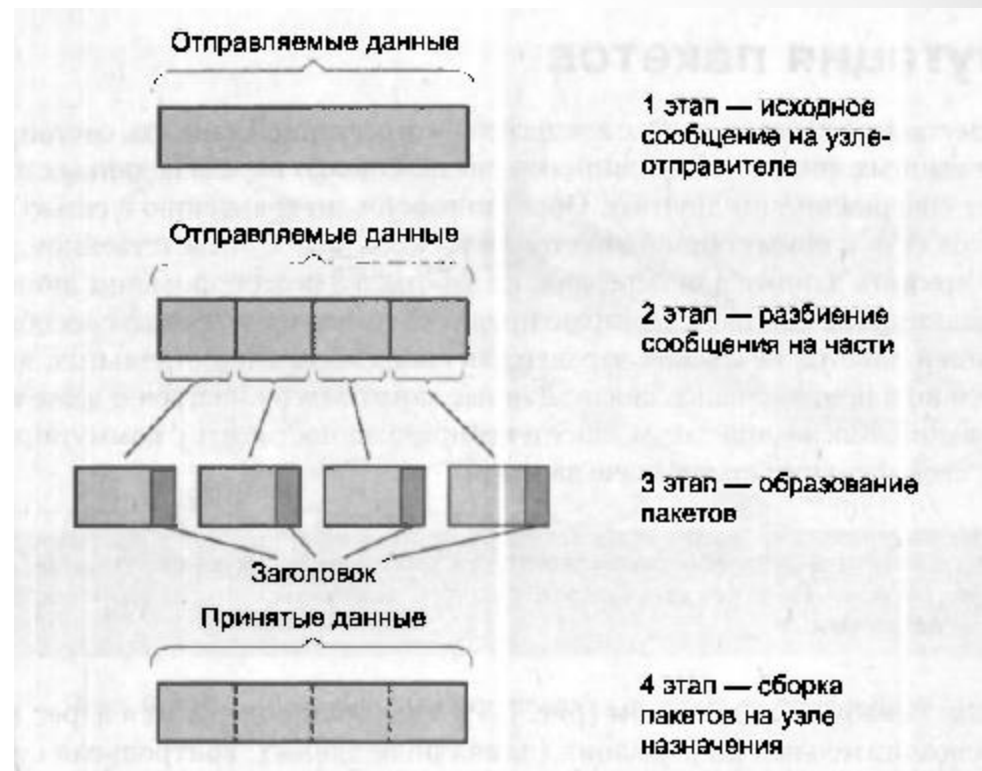
Каждый пакет снабжен **заголовком**, в котором содержится адрес назначения и другая вспомогательная информация (длина поля данных, контрольная сумма и др.), используемая для доставки пакета адресату.

Коммутация пакетов

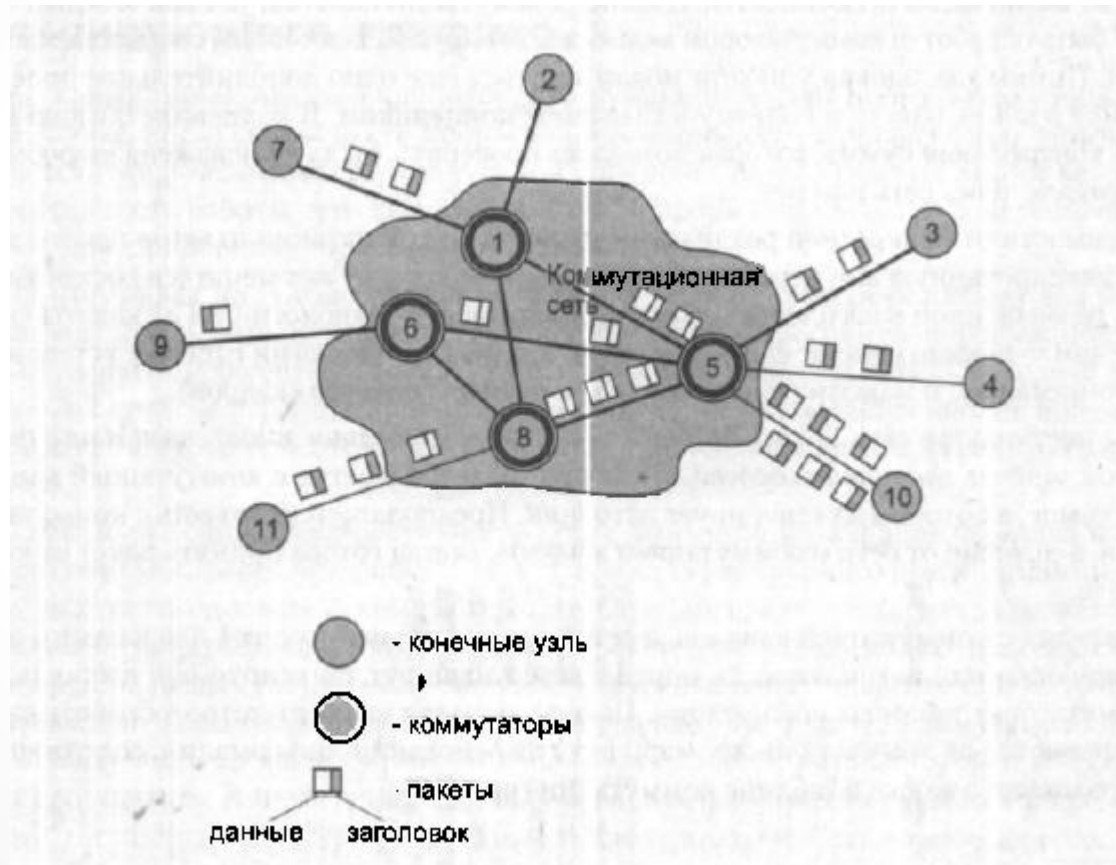
Адрес располагается в каждом пакете, так как он может быть обработан коммутатором **независимо** от других пакетов, составляющих сетевой трафик.

У пакета может иметься еще одно дополнительное поле, размещаемое в конце пакета и поэтому называемое **концевиком**.

В концевике обычно помещается **контрольная сумма**, которая позволяет проверить, была ли искажена информация при передаче через сеть или нет.



Коммутация пакетов



Коммутация пакетов

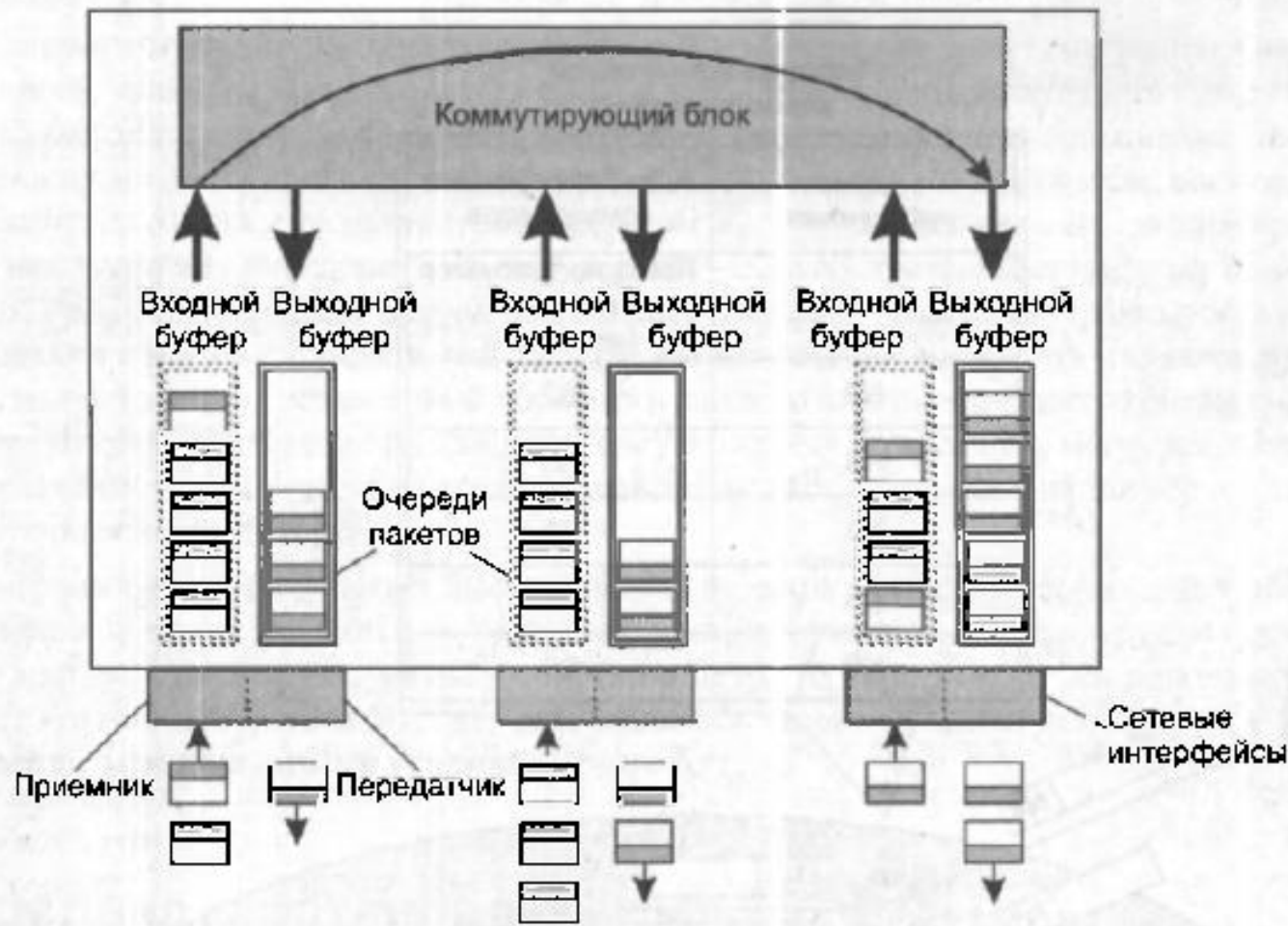
Главное отличие пакетных коммутаторов от коммутаторов в сетях с коммутацией каналов состоит в том, что они имеют внутреннюю **буферную память** для временного хранения пакетов.

Каждый пакет последовательно бит за битом помещается во **входной буфер**. Сети с коммутацией пакетов используют технику **сохранения с продвижением**.

Коммутатору нужны буферы для **согласования скоростей передачи данных в линиях связи**, подключенных к его интерфейсам.

Буферизация необходима пакетному коммутатору также для **согласования скорости поступления пакетов со скоростью их коммутации**.

Коммутация пакетов



Коммутация пакетов

Дейтаграммный способ передачи данных основан на том, что все передаваемые пакеты продвигаются (передаются от одного узла сети другому) независимо друг от друга на основании одних и тех же правил.

Процедура обработки пакета определяется только значениями параметров, которые он несет в себе, и текущим состоянием сети.

Каждый отдельный пакет рассматривается сетью как совершенно независимая единица передачи - **дейтаграмма**.

Коммутация пакетов

Процедура согласования двумя конечными узлами сети некоторых параметров процесса обмена пакетами называется **установлением логического соединения**. Параметры, о которых договариваются два взаимодействующих узла, называются **параметрами логического соединения**.

Наличие логического соединения позволяет более рационально по сравнению с дейтаграммным способом обрабатывать пакеты.



Коммутация пакетов

Единственный заранее проложенный фиксированный маршрут, соединяющий конечные узлы в сети с коммутацией пакетов, называют **виртуальным каналом** (virtual circuit или virtual channel).

Виртуальные каналы прокладываются для **устойчивых** информационных потоков. С целью выделения потока данных из общего трафика каждый пакет этого потока помечается специальным видом признака - **меткой**.

Прокладка виртуального канала начинается с отправки из узла-источника специального пакета - запроса на установление соединения. В запросе указываются адрес назначения и метка потока, для которого прокладывается этот виртуальный канал.

Сравнение способов КОММУТАЦИИ

В сети с **коммутацией каналов** данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на стандартной для канала скорости. Время доставки данных адресату равно сумме **времени распространения сигнала в канале** и **времени передачи сообщения в канал** (называемое также **временем сериализации**).

Наличие коммутаторов в сети с коммутацией каналов **никак не влияет** на суммарное время прохождения данных через сеть.

В сети с **коммутацией пакетов** дополнительно учитывается **время буферизации пакетов в узлах коммутации**, однако в такой сети не является обязательным процесс установления соединения.

Сравнение способов коммутации

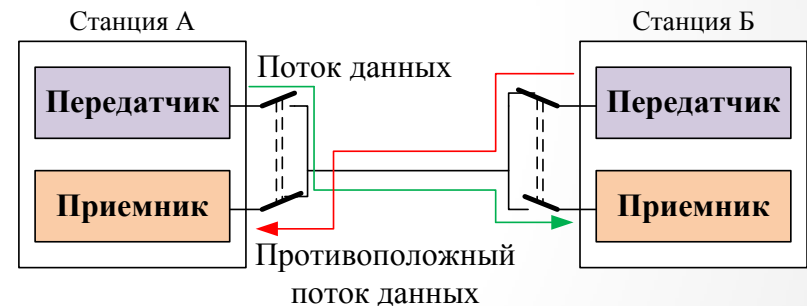
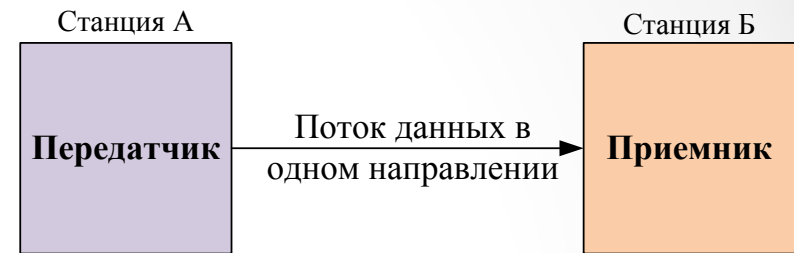
При рассмотрении сети в целом логично использовать в качестве критерия эффективности сети не скорость передачи трафика отдельного пользователя, а более интегральный критерий, например общий **объем передаваемых сетью данных в единицу времени**. В этом случае эффективность сетей с **коммутацией пакетов** по сравнению с сетями с **коммутацией каналов** (при равной пропускной способности каналов связи) оказывается выше!

Сравнение способов КОММУТАЦИИ

Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимо предварительно устанавливать соединение	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Сеть может отказать абоненту в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от абонента
Гарантированная пропускная способность (полоса пропускания) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Высокая надежность передачи	Возможные потери данных из-за переполнения буферов
Нерациональное использование пропускной способности каналов, снижающее общую эффективность сети	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами

Режимы работы ОПТОВОЛОКОННЫХ СЕТЕЙ

- **симплексная передача данных** – однонаправленная, позволяет передавать данные лишь в одном направлении;
- **полудуплексная передача** дает возможность предоставить симплексную связь в обоих направлениях по единственному каналу;
- **дуплексная передача** дает возможность одновременной связи в обоих направлениях.



Структура волоконно-оптической сети связи



Классификация сетей

В зависимости от территории покрытия:

- **локальные сети** (Local Area Network, LAN);
- **глобальные сети** (Wide Area Network, WAN);
- **городские сети** (Metropolitan Area Network, MAN).

Классификация сетей

В соответствии с технологическими признаками, обусловленными **средой передачи**, сети подразделяют на:

- **проводные сети**, то есть сети, каналы связи которых построены с использованием медных или оптических кабелей;
- **беспроводные сети**, то есть сети, в которых для связи используются беспроводные каналы связи, например радио, СВЧ, инфракрасные или лазерные каналы.

Классификация сетей

В зависимости от того, какому **типу пользователей** **предназначаются услуги сети**, сети делятся на:

- **сети операторов связи** (предоставляют публичные услуги телефонии и аренды каналов связи);
- **корпоративные сети** (предоставляют услуги только сотрудникам предприятия, которое владеет сетью);
- **персональные сети** (находятся в личном использовании).

Классификация сетей

В зависимости от **функциональной роли**, которую играют некоторые части сети, они делятся на: сети доступа, магистральные сети и сети агрегирования трафика.

- **сети доступа** - это сети, предоставляющие доступ индивидуальным и корпоративным абонентам от их помещений до первого помещения оператора сети связи или оператора корпоративной сети;
- **магистральные сети** - это сети, представляющие собой наиболее скоростную часть глобальной сети, которая объединяет многочисленные сети доступа в единую сеть;
- **сети агрегирования трафика** - это сети, агрегирующие данные от сетей доступа для компактной передачи их по небольшому числу каналов связи в магистраль.

Классификация сетей

Сети разделяют по признаку их **первичности**:

- **первичные сети** - это вспомогательные сети, которые нужны для того, чтобы гибко создавать постоянные физические двухточечные каналы для других сетей связи;
- **наложенные (вторичные) сети** - это все остальные сети, которые предоставляют услуги конечным пользователям и строятся на основе каналов первичных сетей - «накладываются» поверх этих сетей.

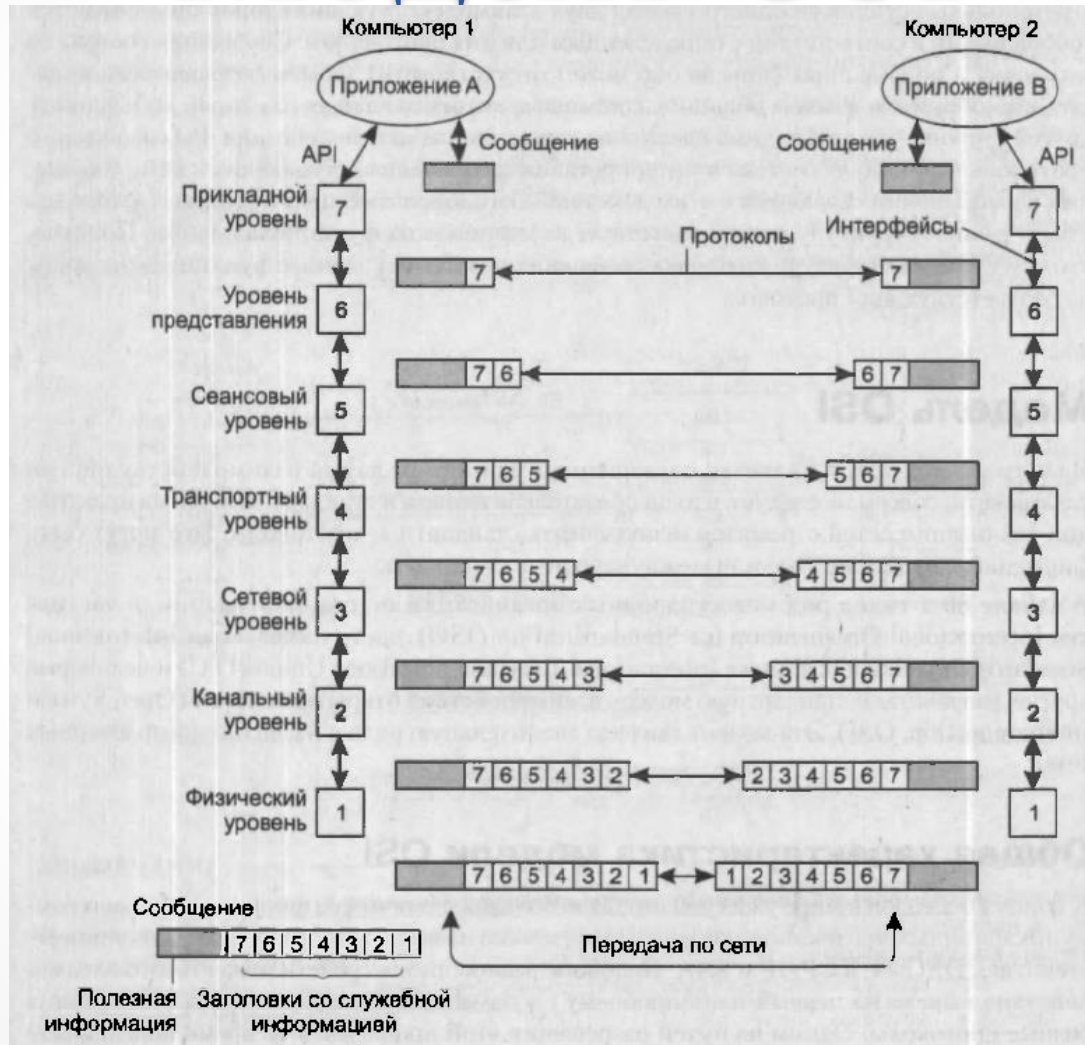
Модель OSI

В начале 80-х годов ряд международных организаций по стандартизации (ISO, ITU и некоторые другие) разработали **стандартную модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI)**.

Назначение модели OSI состоит в обобщенном представлении средств сетевого взаимодействия. Она определяет:

- уровни взаимодействия систем в сетях с коммутацией пакетов;
- стандартные названия уровней;
- функции, которые должен выполнять каждый уровень.

Модель OSI



Интерфейс

Межуровневый интерфейс, называемый также **интерфейсом услуг**, определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему.

Такой подход дает возможность проводить разработку, тестирование и модификацию отдельного уровня модели независимо от других уровней.

Иерархическая декомпозиция позволяет, двигаясь от более низкого уровня к более высокому, переходить ко все более и более абстрактному, а значит, более простому представлению процесса передачи данных по сети.

Протокол

В сущности, термины **протокол** и **интерфейс** выражают одно и то же понятие – формализованное описание процедуры взаимодействия двух объектов, но традиционно в сетях за ними закрепили разные области действия:

- **протоколы** определяют правила взаимодействия модулей одного уровня в разных узлах;
- **интерфейсы** - правила взаимодействия модулей соседних уровней в одном узле.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется **стеком протоколов**.

Протокол

Программный модуль, реализующий некоторый протокол, называют **протокольной сущностью**, или, для краткости, тоже протоколом.

Протокольные сущности одного уровня двух взаимодействующих сторон обмениваются сообщениями в соответствии с определенным для них протоколом.

Сообщения состоят из заголовка и поля данных (иногда оно может отсутствовать). Обмен сообщениями является своеобразным языком общения, с помощью которого каждая из сторон «объясняет» другой стороне, что необходимо сделать на каждом этапе взаимодействия.

Уровни модели OSI (физический уровень)

Физический уровень (Physical layer) имеет, дело с передачей потока битов по физическим каналам связи, например, таким как коаксиальный кабель, витая пара или волоконно-оптический кабель.

Функции физического уровня реализуются на всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

Уровни модели OSI (физический уровень)

Примером протокола физического уровня может служить спецификация 10Base-T технологии Ethernet, которая определяет:

- в качестве используемого кабеля неэкранированную витую пару категории 3 с волновым сопротивлением 100 Ом;
- разъем RJ-45;
- максимальную длину физического сегмента 100 метров;
- манчестерский код для представления данных в кабеле;
- а также некоторые другие характеристики среды и электрических сигналов.

Физический уровень не вникает в смысл информации, которую он передает. Для него эта информация представляет собой однородный поток битов, которые нужно доставить без искажений и в соответствии с заданной тактовой частотой.

Уровни модели OSI (канальный уровень)

Канальный уровень (Data link layer) обеспечивает прозрачность соединения для сетевого уровня.

Для этого он предлагает ему следующие услуги:

- установление логического соединения между взаимодействующими узлами;
- согласование в рамках соединения скоростей передатчика и приемника информации;
- обеспечение надежной передачи, обнаружение и коррекция ошибок.

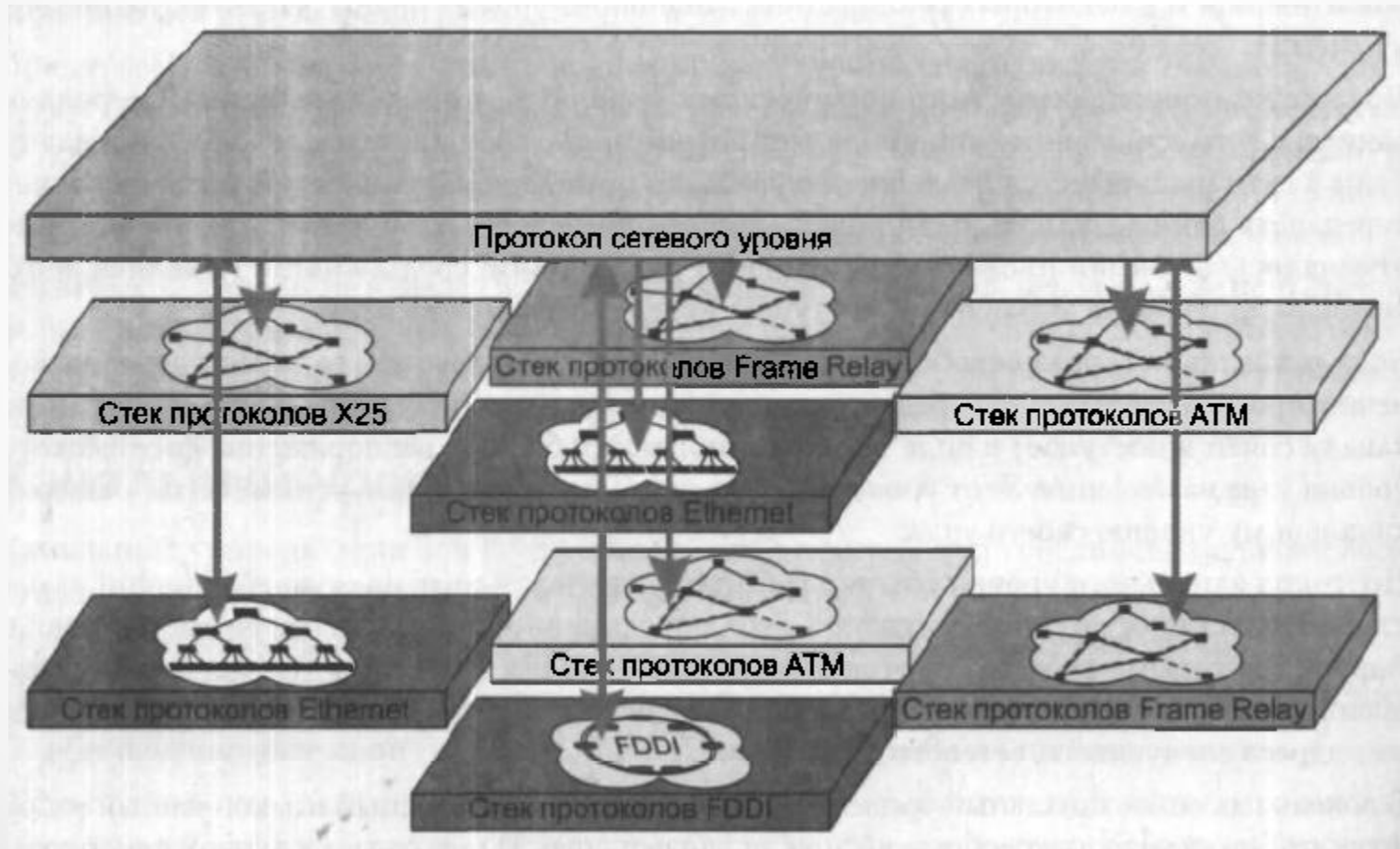
Уровни модели OSI (сетевой уровень)

Сетевой уровень (Network layer) служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, называемой **составной сетью** или **интернетом**.

Технология, позволяющая соединять в единую сеть множество сетей, в общем случае построенных на основе разных технологий, называется технологией **межсетевого взаимодействия (Internetworking)**.

Интернет (с заглавной буквы) - это самая известная и охватывающая весь мир реализация составной сети, построенная на основе технологии TCP/IP.

Уровни модели OSI (сетевой уровень)



Уровни модели OSI (сетевой уровень)

Функции сетевого уровня реализуются:

- группой протоколов;
- специальными устройствами - **маршрутизаторами**.

Одной из функций маршрутизатора является **физическое соединение сетей**.

Маршрутизатор имеет несколько сетевых интерфейсов, подобных интерфейсам компьютера, к каждому из которых может быть подключена одна сеть.

Таким образом, все интерфейсы маршрутизатора считаются узлами разных сетей.

Уровни модели OSI (транспортный уровень)

Транспортный уровень (Transport layer) обеспечивает приложениям или верхним уровням стека - прикладному, представления и сеансовому - передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется.

Модель OSI определяет пять **классов транспортного сервиса** от низшего класса 0 до высшего класса 4.

Эти виды сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, способностью к обнаружению и исправлению ошибок передачи.

Уровни модели OSI (транспортный уровень)

Протоколы нижних четырех уровней обобщенно называют **сетевым транспортом**, или **транспортной подсистемой**, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями.

Оставшиеся три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов, используя нижележащую транспортную подсистему.

Уровни модели OSI (сеансовый уровень)

Сеансовый уровень (Session layer) управляет взаимодействием сторон: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, и предоставляет средства синхронизации сеанса.

На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов. Функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Уровни модели OSI (уровень представления)

Уровень представления (Presentation layer) обеспечивает представление передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания.

За счет уровня представления информация, передаваемая прикладным уровнем одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы.

На этом уровне могут выполняться шифрование и дешифрование данных. Например, протокол **SSL (Secure Socket Layer)** - слой защищенных сокетов), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Уровни модели OSI (прикладной уровень)

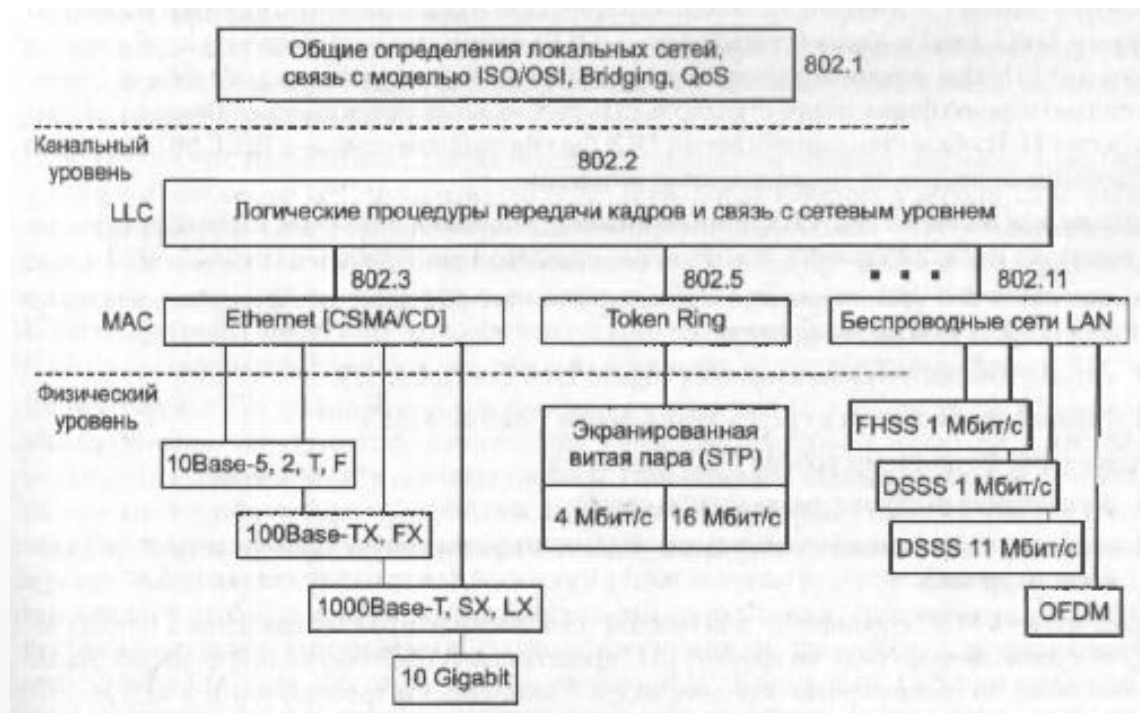
Прикладной уровень (Application layer) - это набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам (файлы, принтеры или гипертекстовые веб-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, по протоколу электронной почты.

Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется **сообщением**.

Локальные волоконно-оптические сети

Комитет IEEE 802 разделил функции канального уровня модели OSI на два подуровня:

- **управление логическим каналом** (Logical Link Control, **LLC**);
- **управление доступом к среде** (Media Access Control, **MAC**).



FDDI

Сеть **FDDI** – Fiber Distributed Data Interface основывается на технологии **Token Ring**, развивая и совершенствуя ее основные технические решения.

Задача этой сетевой технологии – повысить **скорость** и **надежность передачи (отказоустойчивость)** в случае повреждении кабеля или некорректной работы узла из-за высокого уровня помех.

Особенностью сети является использование в качестве среды **волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)**.

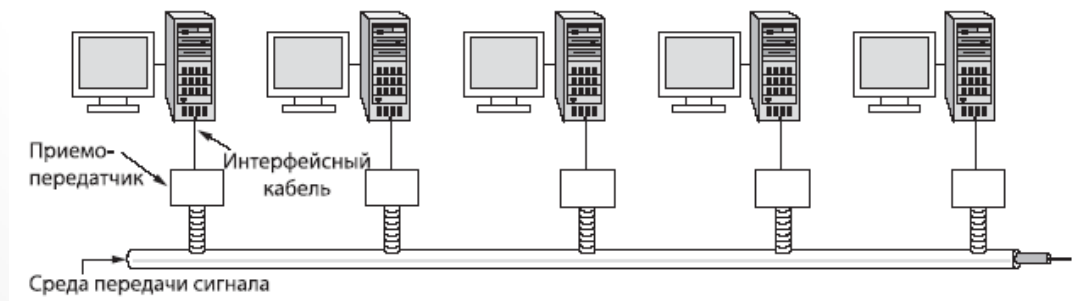
Передача данных выполняется со скоростью **100 Мбит/с** по двойному кольцу длиной до **100 км**.

Ethernet

Наиболее частой технологией для организации локальных сетей в настоящее время является технология **Ethernet** и ее модификации.

Построение и функционирование таких сетей регламентируется стандартом **IEEE 802.3**.

Классической версией **Ethernet** является стандартная сеть со скоростью передачи данных **10 Мбит/с**, работающая в **однополосном режиме**.

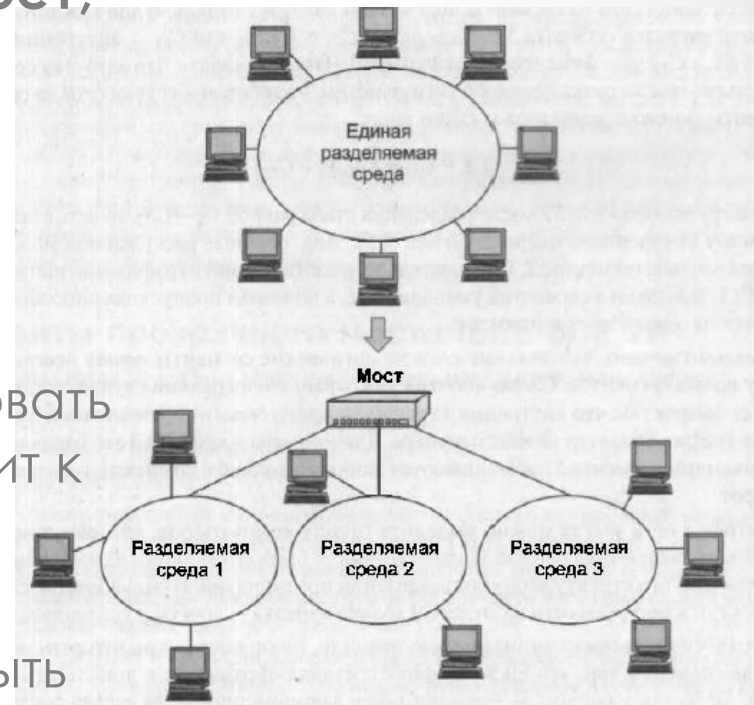


Коммутируемые сети Ethernet

Мост локальной сети, или просто **мост**, появился как средство построения крупных локальных сетей на разделяемой среде (что без моста сделать невозможно).

В сети Ethernet требование использовать единую разделяемую среду приводит к нескольким очень жестким ограничениям:

- общий диаметр сети не может быть больше 2500 м;
- количество узлов не может превышать 1024 (для сетей Ethernet на коаксиале это ограничение еще жестче).

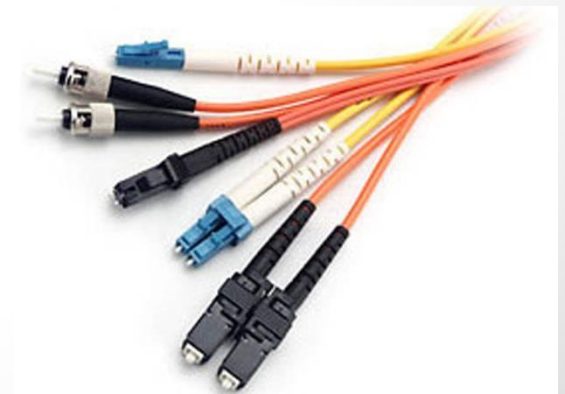


Физические стандарты Ethernet

10BASE-T – физический интерфейс Ethernet, позволяющий компьютерам связываться при помощи кабеля типа «витая пара» (*twisted pair*). Максимальная длина сегмента – 100 метров.



10BASE-FL (Fiber Link) – стандарт для Технологии Ethernet, использующий для передачи данных оптический кабель. Максимальная длина сегмента – 2 км.



Физические стандарты Ethernet

100BASE-FX – стандарт, использующий многомодовое волокно. Максимальная длина сегмента 400 метров в полудуплексе (для гарантированного обнаружения коллизий) или 2 километра в полном дуплексе.

100BASE-FX WDM – стандарт, использующий одномодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в ВОК и мощностью передатчиков.

Интерфейсы бывают двух видов: А(1310) и В(1550).

В паре могут работать только парные интерфейсы: с одной стороны передатчик на 1310 нм, а с другой – на 1550 нм.

Физические стандарты Ethernet

1000BASE-SX – многомодовое волокно в первом окне прозрачности (850 нм). Дальность прохождения сигнала составляет до 550 метров.

1000BASE-FX – одномодовое или многомодовое оптическое волокно во втором окне прозрачности (1310 нм). Дальность прохождения сигнала 5 км (одномодовое волокно), 550 метров (многомодовое волокно).

Физические стандарты Ethernet

10GBASE-SR – для коротких расстояний (до 26 или 82 метров, в зависимости от типа кабеля), используется многомодовое волокно.

10GBASE-LX4 – использует уплотнение по длине волны для поддержки расстояний от 240 до 300 метров по многомодовому волокну (до 10 километров при использовании одномодового волокна).

10GBASE-LR – передача до 10 километров по одномодовому волокну.

10GBASE-ER – передача до 40 километров по одномодовому волокну.

Первичные сети

Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать **постоянный канал с двухточечной топологией** между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети.

В первичных сетях применяется техника **коммутации каналов**.

Поколения первичных сетей

В настоящее время сосуществует несколько поколений технологий первичных сетей:

- **плезиохронная цифровая иерархия** (Plesiochronous Digital Hierarchy, **PDH**);
- **синхронная цифровая иерархия** (Synchronous Digital Hierarchy, **SDH**) – этой технологии в Америке соответствует стандарт SONET;
- **уплотненное волновое мультиплексирование** (Dense Wave Division Multiplexing, **DWDM**);
- **оптические транспортные сети** (Optical Transport Network, **OTN**) – данная технология определяет способы передачи данных по волновым каналам DWDM.

Технология SDH

Преимущества технологии SDH:

- предусматривает синхронную передачу и мультиплексирование (элементы первичной сети SDH используют для синхронизации один задающий генератор);
- предусматривает прямое мультиплексирование и демultipлексирование потоков PDH, так что на любом уровне иерархии SDH можно выделять загруженный поток PDH без процедуры пошагового демultipлексирования;
- опирается на стандартные оптические и электрические интерфейсы, что обеспечивает лучшую совместимость оборудования различных фирм-производителей;

Технология SDH

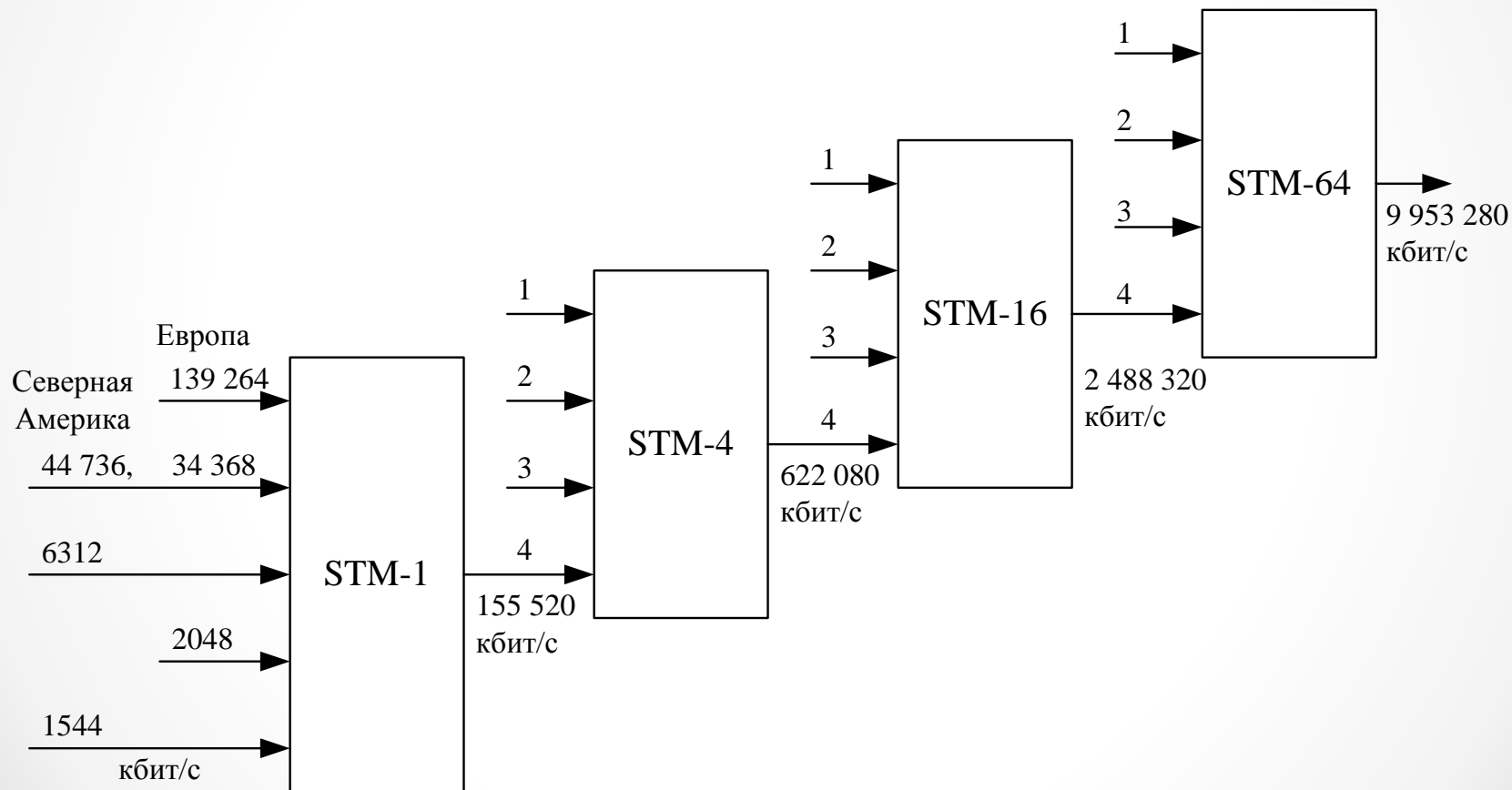
Преимущества технологии SDH:

- позволяет объединить системы PDH европейской и американской иерархии, обеспечивает полную совместимость с существующими системами PDH и, в то же время, дает возможность будущего развития систем передачи, поскольку обеспечивает каналы высокой пропускной способности;
- обеспечивает лучшее управление и самодиагностику первичной сети (большое количество сигналов о неисправностях, передаваемых по сети SDH, дает возможность построения систем управления на основе платформы TMN; технология SDH обеспечивает возможность управления сколь угодно разветвленной первичной сетью из одного центра).

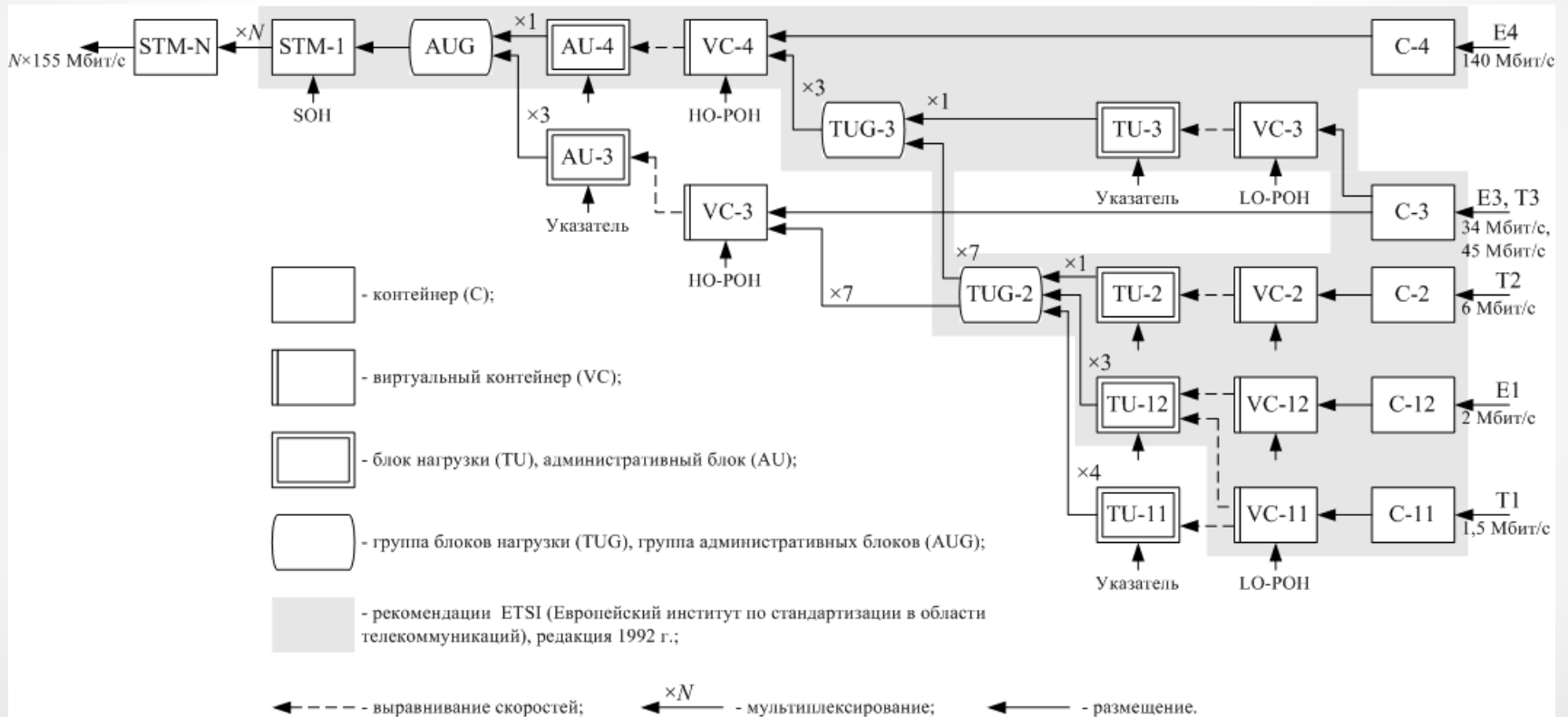
Иерархия SDH

Уровень SDH (STM)	Уровень SONET (STS, OC)	Скорость передачи
	STS-1, OC-1	51,84 Мбит/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мбит/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбит/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбит/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбит/с
STM-256	OC-768	39,81 Гбит/с

Мультиплексирование в SDH



Загрузка STM

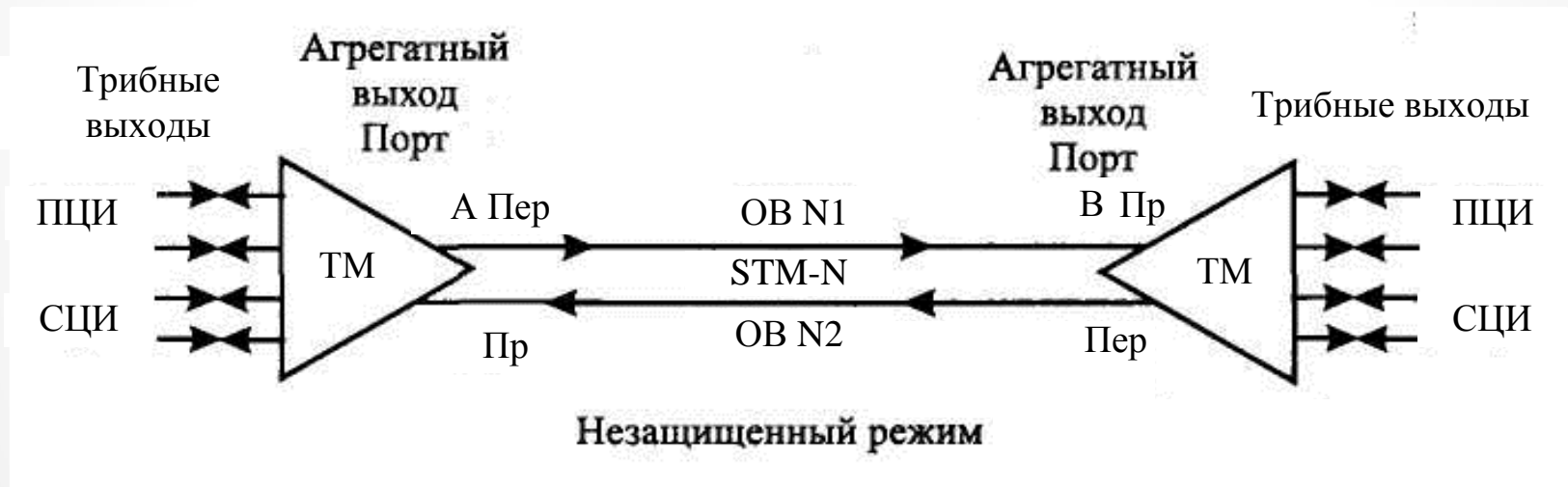


Оборудование SDH

- терминальный мультиплексор (TMX, TM);
- мультиплексор ввода/вывода (ADM, MBW);
- коммутатор или кросс-коммутатор (DXC, K);
- концентратор (Hub, K);
- регенератор (R, P);
- вспомогательное оборудование (конвертор).

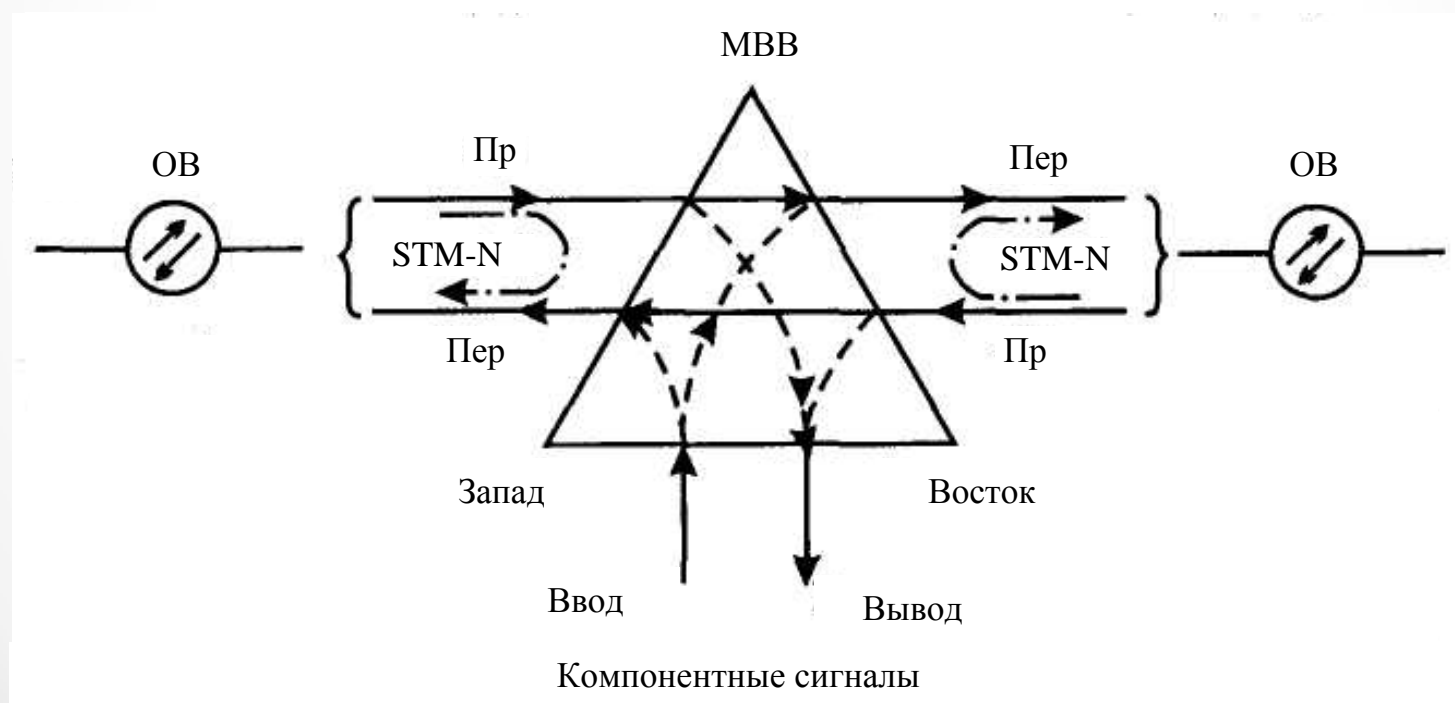
Терминальный мультиплексор

Терминальный мультиплексор осуществляет сбор входных потоков через каналы доступа в агрегатный блок, пригодный для транспортировки в сети SDH.



Мультиплексор ввода/вывода

Мультиплексор ввода/вывода производит транспортировку агрегатных блоков по сети с возможностью ввода/вывода входных/выходных потоков.

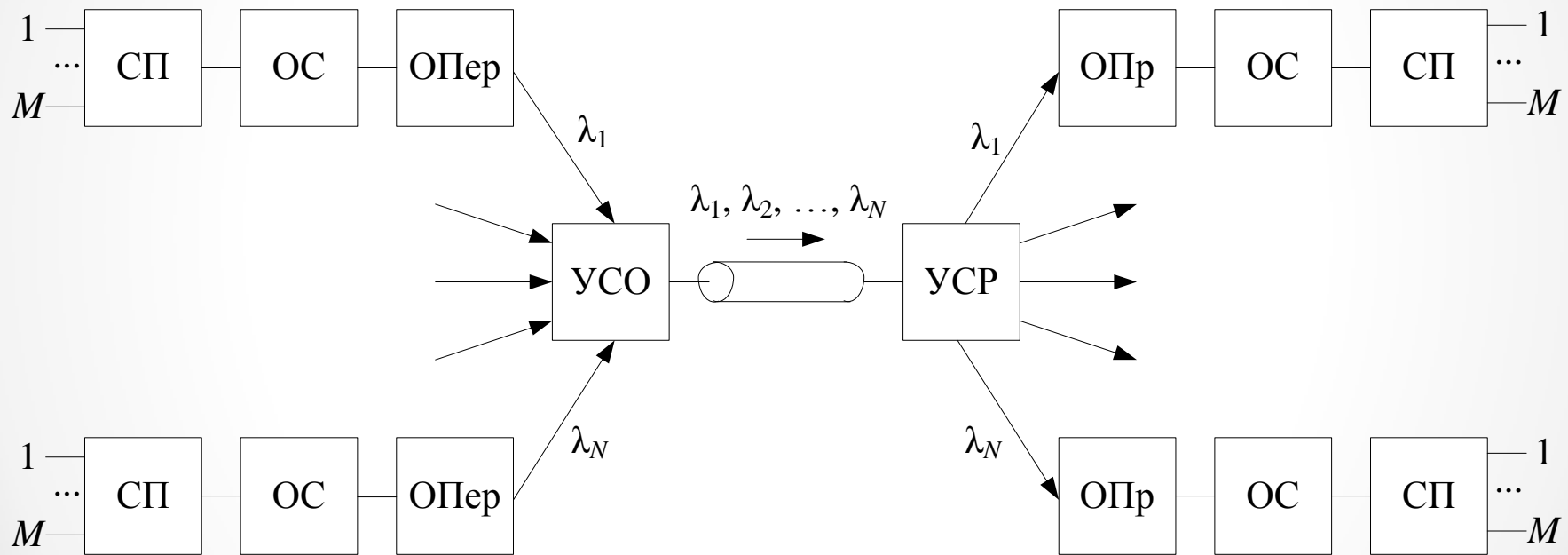


Принципы работы DWDM

Технологии волнового мультиплексирования **WDM** (**Wavelength Division Multiplexing**) и плотного волнового мультиплексирования **DWDM** (**Dense Wavelength Division Multiplexing**) сравнительно новые сетевые технологии для транспортных сетей, основанные на спектральном уплотнении оптического излучения по длине волны.

В настоящее время технология DWDM является основой построения оптических сетей связи.

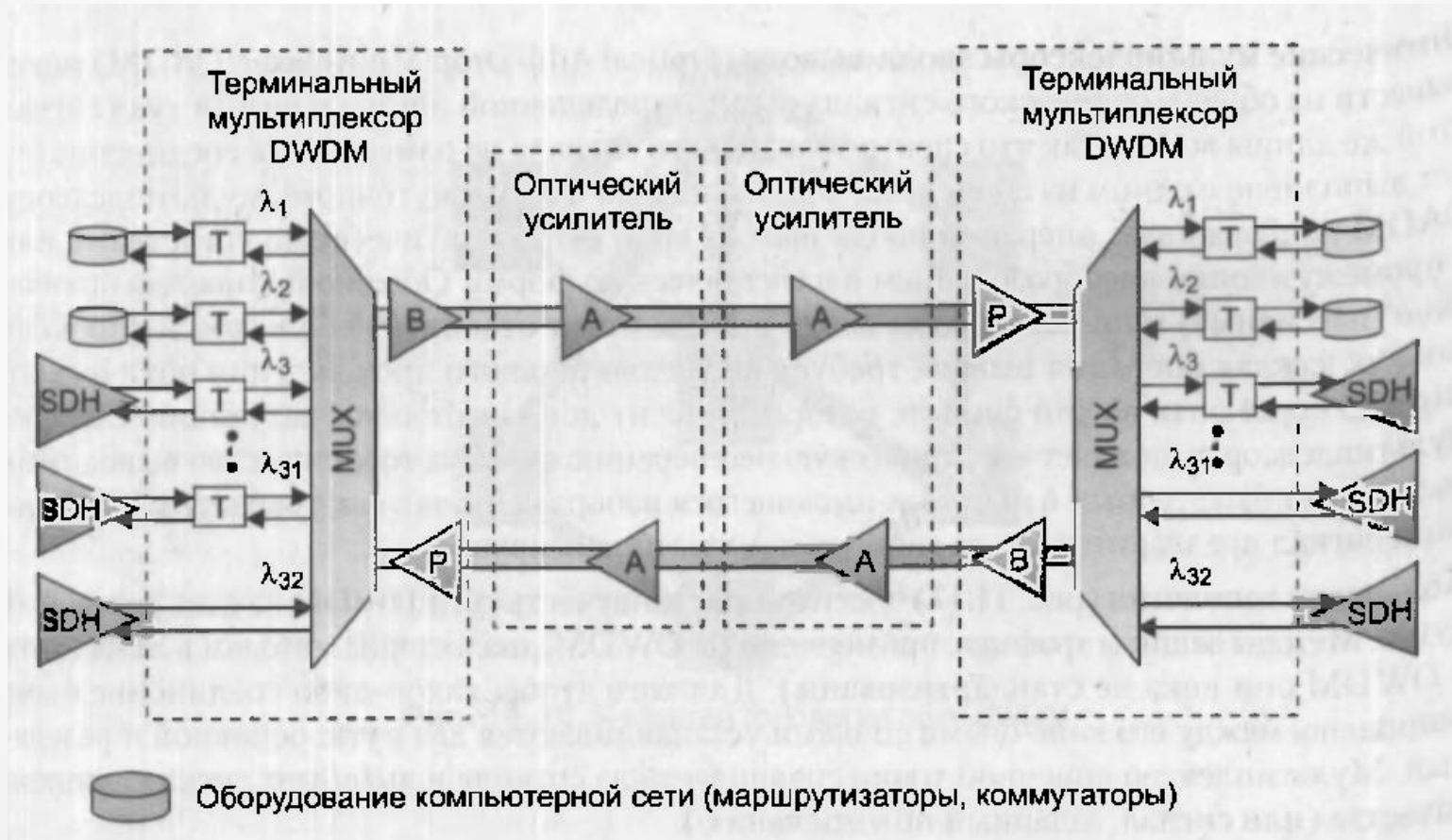
Принципы работы DWDM



Принципы работы DWDM

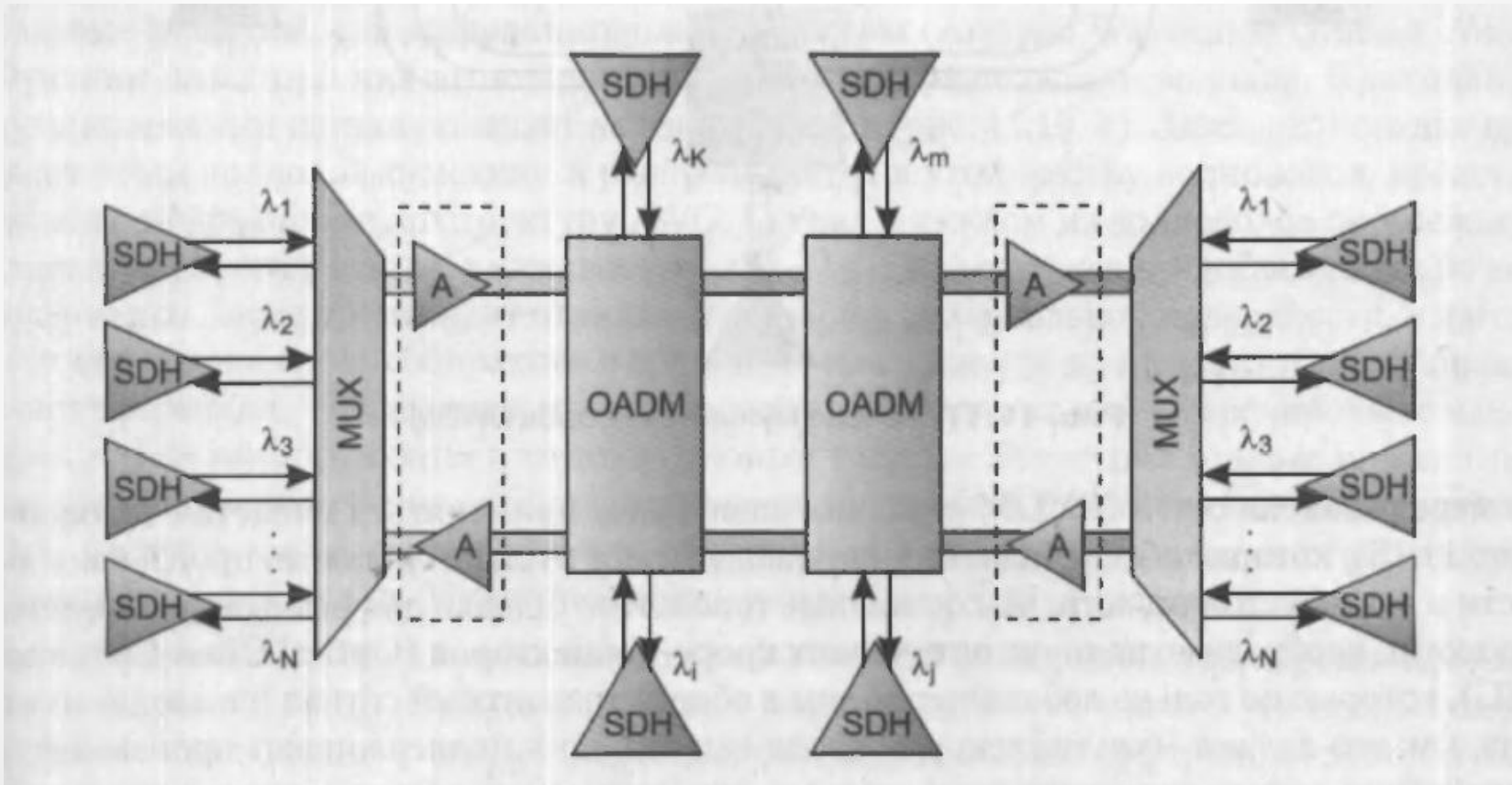
Обозначение диапазона	Наименование диапазона	Диапазон длин волн, нм
O	Основной	1260-1360
E	Расширенный	1360-1460
S	Коротковолновой	1460-1530
C	Стандартный	1530-1565
L	Длинноволновой	1565-1625
U	Сверхдлинноволновой	1625-1675

Топология DWDM



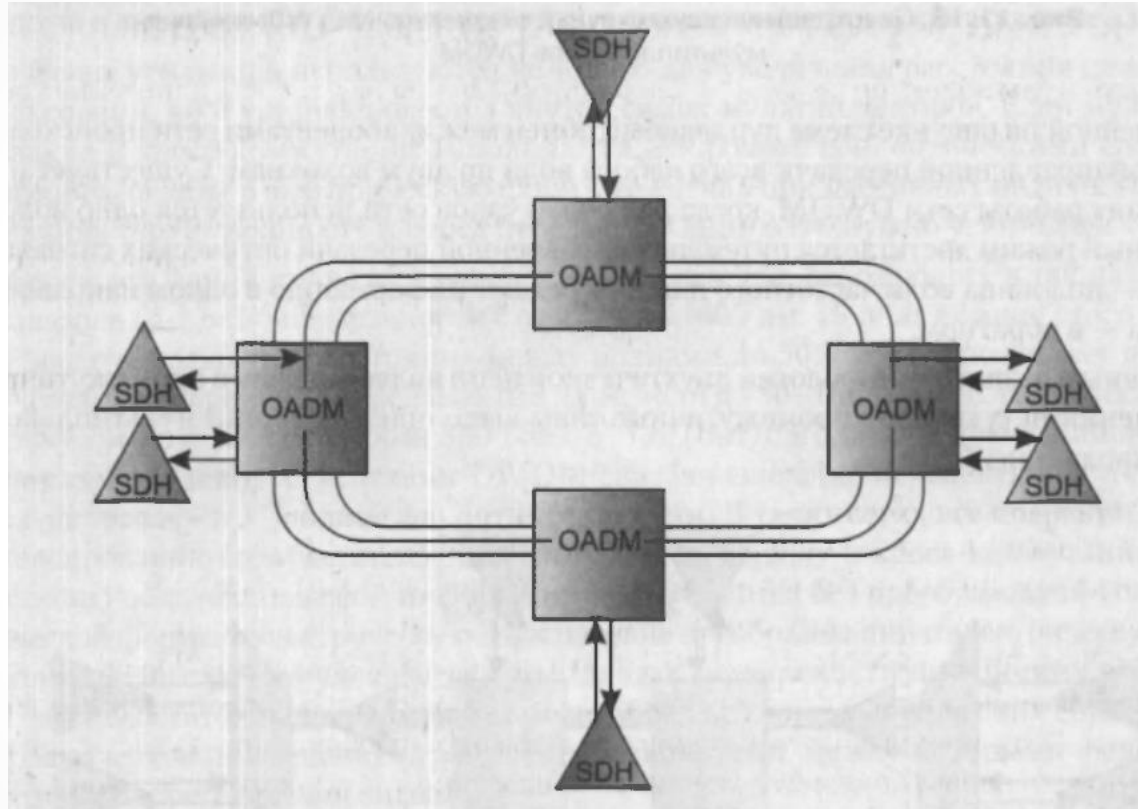
Сверхдальняя двухточечная связь на основе терминальных мультиплексоров DWDM

Топология DWDM



Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах (OADM - Optical Add-Drop Multiplexer, оптический мультиплексор ввода-вывода)

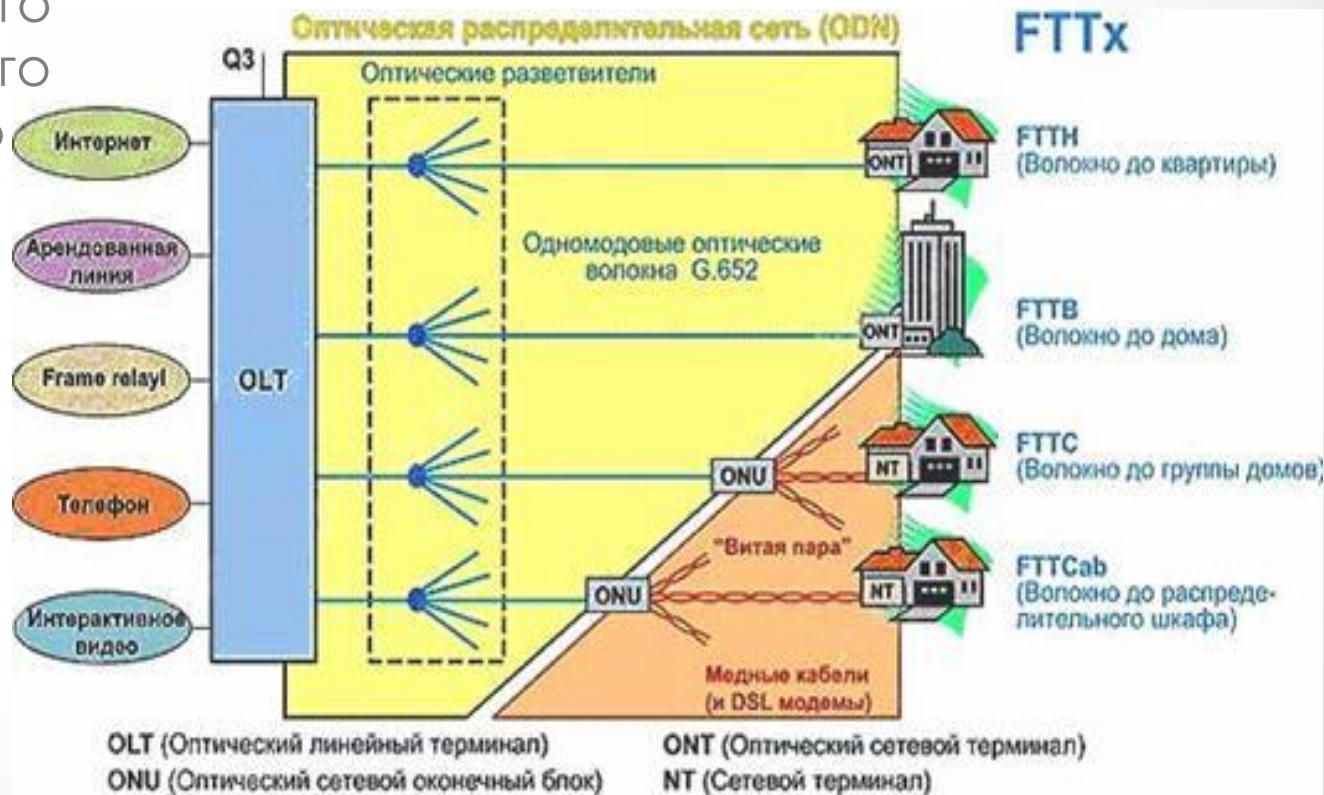
Топология DWDM



Кольцо мультиплексоров DWDM

Технологии доступа xPON

Подгруппа технологий **пассивных оптических сетей (xPON – Passive Optical Network)** – это семейство быстроразвивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптическому волокну.



Технологии доступа xPON

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON	GEPON
Институты стандартизации / альянсы	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA
Дата принятия стандарта	октябрь 1998	июль 2004	октябрь 2003	сентябрь 2004
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x	IEEE 802.1ah
Скорость передачи, прямой/обратный поток, Мбит/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155, 622/1244, 2488/622, 1244/2488	1250 / 1250
Базовый протокол	ATM	Ethernet	SDH	Ethernet
Линейный код	NRZ	8B/10B	NRZ	8B/10B
Максимальный радиус сети, км	20	20 (>30)	20	20
Максимальное число абонентских узлов на одно волокно	32	16	64 (128)	64
Коррекция ошибок FEC	предусмотрена	нет	необходима	предусмотрена

Технологии доступа xPON

Информация для всех пользователей передается **одновременно** с временным разделением каналов от **оптического линейного терминала (OLT – Optical Line Terminal)** до **оконечных оптических сетевых блоков (ONT – Optical Network Terminal или ONU – Optical Network Unit)**, расположенных у самого абонента.

