

Лекция 5

Канальный уровень модели OSI

Лекция 5. Канальный уровень модели OSI

- Методы коммутации;
- Сетевые протоколы и методы коммутации;
- Протоколы канального уровня;
- Стандарты IEEE 802;
- Технологии локальных сетей;
- Технология Ethernet;
- Физический уровень технологии Ethernet;
- Энергоэффективный Ethernet;
- Сменные интерфейсные модули.

Канальный уровень модели OSI

- ❑ **Канальный уровень** (Data link layer) обеспечивает передачу данных, полученных от вышележащего сетевого уровня, через физический уровень между непосредственно подключенными устройствами.

- ❑ **Канальный уровень выполняет следующие функции:**
 - ▢ управление доступом к среде передачи;
 - ▢ управление потоком данных;
 - ▢ физическая (аппаратная) адресация;
 - ▢ формирование кадров;
 - ▢ достоверность принимаемых данных;
 - ▢ адресация протокола верхнего уровня.

- ❑ **На канальном уровне работают следующие устройства:**
 - ▢ сетевые адаптеры;
 - ▢ медиаконвертеры с интеллектуальными функциями;
 - ▢ коммутаторы;
 - ▢ точки доступа.

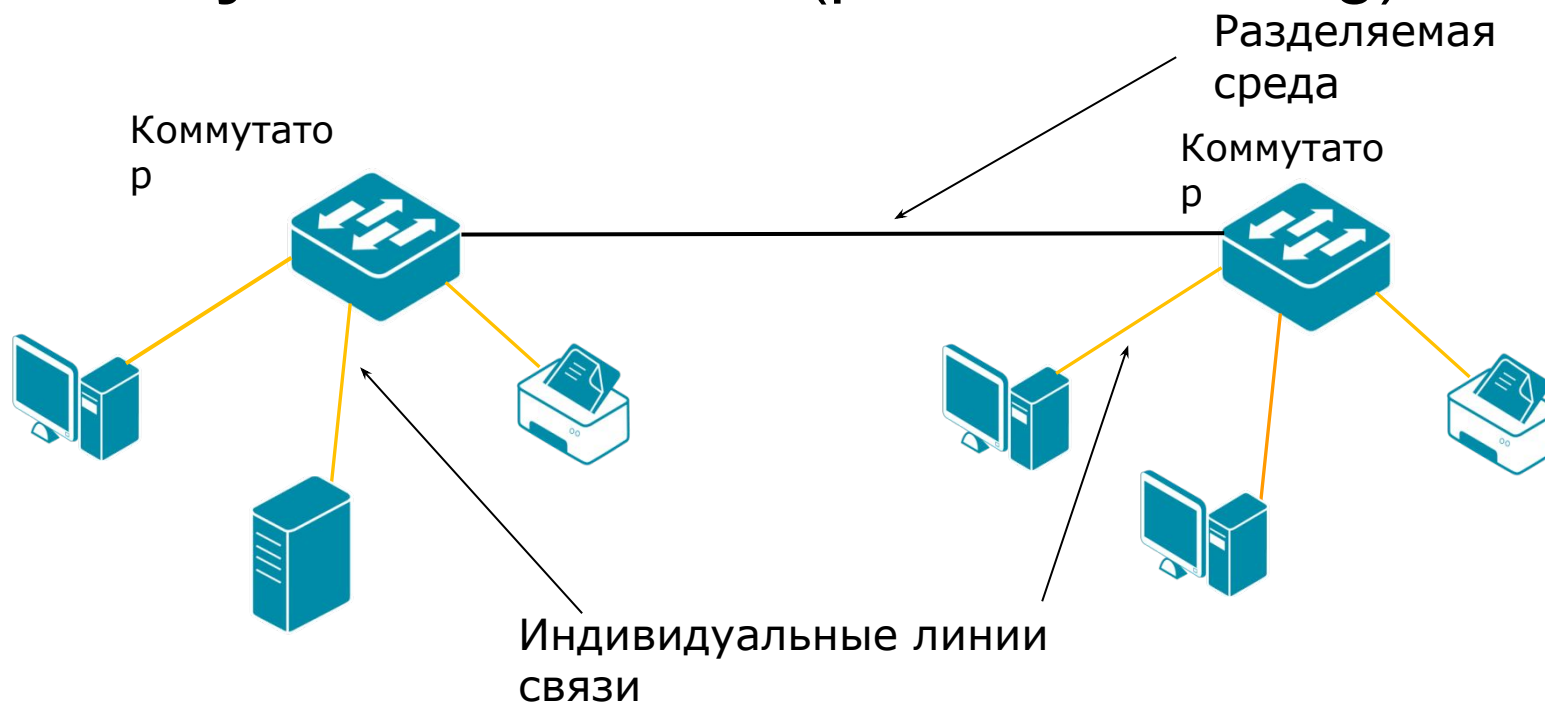
Методы коммутации

❑ **Коммутация (switching)** – определение направления передачи данных.

❑ **Базовые принципы коммутации в компьютерных сетях:**

❑ **коммутация каналов (circuit switching);**

❑ **коммутация пакетов (packet switching).**



Методы коммутации

Коммутация каналов основана на *синхронном TDM*. Она предоставляет каждой паре взаимодействующих абонентов последовательность каналов (логических) для монопольного использования.

□ В сетях с коммутацией каналов абонентам могут быть предоставлены *коммутируемые* и *некоммутируемые* каналы.

□ **Коммутируемые** или **временные** каналы - передача данных возможна только после установления соединения между взаимодействующими системами.

□ **Достоинства:**

✓ небольшая стоимость.

□ **Недостатки:**

✓ большое время ожидания соединения;

✓ возможность блокировки «занято».

□ **Некоммутируемые** или **выделенные** каналы - доступны для передачи данных на длительное время за счет постоянно существующего соединения с заданными характеристиками.

□ **Достоинства:**

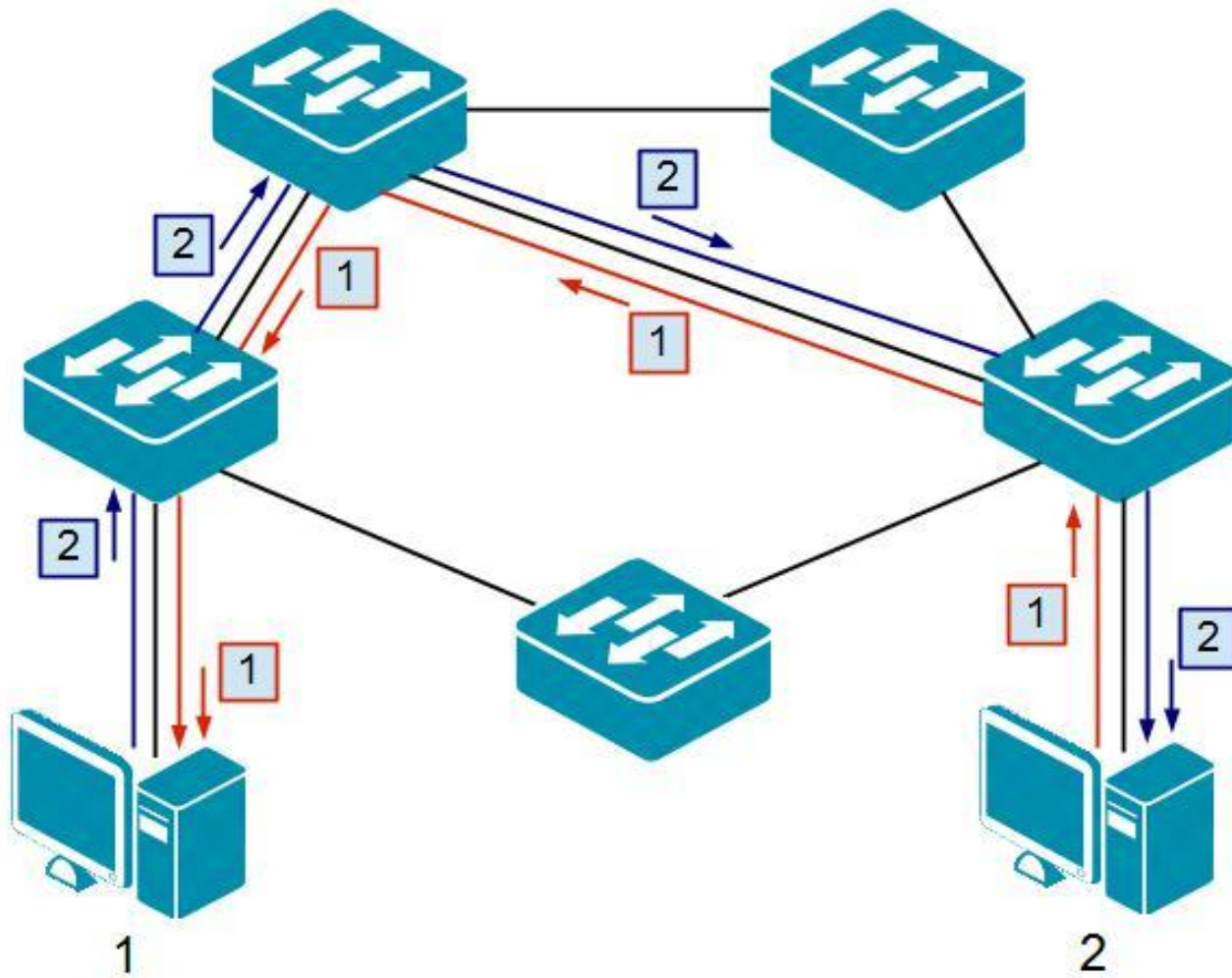
✓ постоянно готовы к передачи данных.

□ **Недостатки:**

✓ стоимость выше стоимости коммутируемых каналов.

Методы коммутации

Коммутация каналов

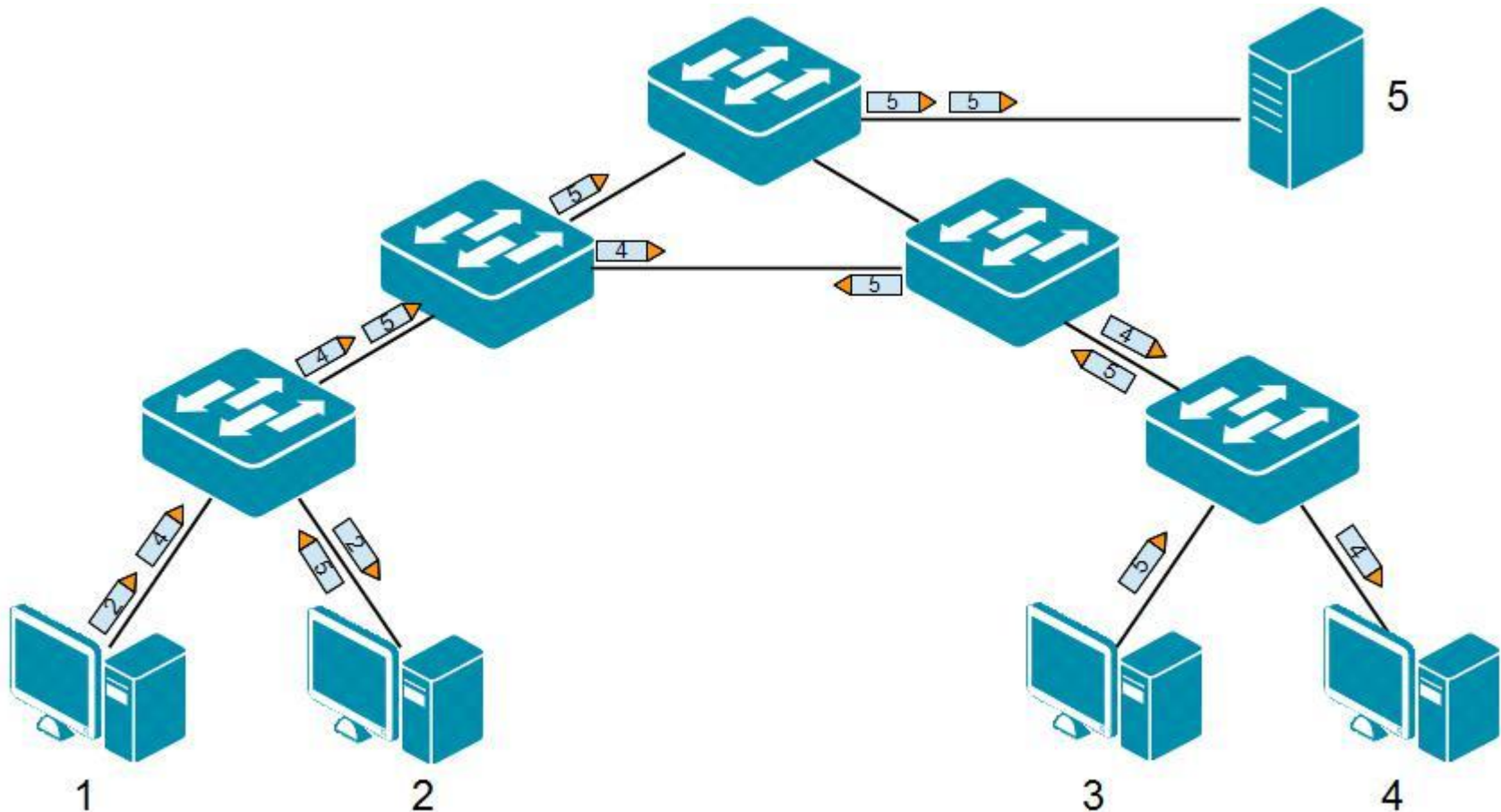


❑ Недостатки:

- ✓ неэффективное использование полосы пропускания.

Методы коммутации

- ❑ Технология **коммутации пакетов** основана на использовании *асинхронного* или *статистического TDM*.
- ❑ Она позволяет конечным системам передавать данные через сеть без монопольного использования каналов, т.е. ни один из каналов не занимается парой абонентских систем даже на время сеанса связи.



Методы коммутации

- Устройства связи пакетной сети (коммутаторы, маршрутизаторы) отличаются от устройств сети с коммутацией каналов тем, что имеют внутреннюю буферную память. Для предотвращения переполнения буферов коммутаторов или маршрутизаторов используются специальные **методы управления потоком** (flow control).

- В современных устройствах используются следующие методы коммутации, определяющие их поведение при получении пакета:
 - коммутация с промежуточным хранением (store-and-forward);
 - коммутация без буферизации (cut-through).

Коммутация пакетов основана на таблицах, которые хранятся в памяти и содержат информацию, позволяющую определить путь до места назначения пакета.

Сетевые протоколы и методы коммутации

□ Сетевые протоколы делятся на две категории по типу установления соединения:

□ **протоколы с установлением соединения** (Connection-Oriented Protocol): эти протоколы требуют установления логического соединения между двумя устройствами до начала передачи данных;

□ **протоколы без установления соединения** (Connectionless Protocol): эти протоколы не устанавливают соединение между устройствами. Как только у устройства появляются данные для передачи, оно сразу начинает их передавать.

Протоколы канального уровня

Протоколы канального уровня определяют набор правил, позволяющих упорядочивать взаимодействие узлов, подключенных к одному сегменту сети.

□ Протоколы канального уровня можно разделить на две группы:

- протоколы для соединений типа «точка-точка»;
- протоколы для сетей сложных топологий, к которым относятся локальные сети.

□ Блок данных канального уровня - кадр (frame).

□ Структура заголовка кадра зависит от набора задач, которые решает данный конкретный протокол.

Поле, определяющее начало кадра	Адрес отправителя и получателя	Информация о протоколе сетевого уровня	Данные (Data)	Контрольная сумма	Поле, определяющее конец кадра
---------------------------------	--------------------------------	--	---------------	-------------------	--------------------------------

□ Характеристика, используемая для определения максимального размера блока данных (в байтах), который может быть передан на канальном уровне, называется **MTU**

Стандарты IEEE 802

- За разработку каждого стандарта отвечает отдельная рабочая группа комитета. В настоящее время в комитете IEEE 802 активными являются следующие группы:
 - 802.1 Higher Layer LAN Protocols
 - 802.3 Ethernet
 - 802.11 Wireless LAN
 - 802.15 Wireless Personal Area Network (WPAN)
 - 802.16 Broadband Wireless Access
 - 802.18 Radio Regulatory TAG
 - 802.19 Wireless Coexistence
 - 802.21 Media Independent Handover Services
 - 802.22 Wireless Regional Area Networks
 - SG ECSG Smart Grid Executive Committee Study Group

- Распущены группы:
 - 802.2 Logical Link Control
 - 802.4 Token Bus
 - 802.5 Token Ring

Стандарты IEEE 802

- Семейство стандартов IEEE 802 включает стандарты для сетей Ethernet, Token Ring, беспроводных сетей Wi-Fi, управления, безопасности, создания мостовых соединений.



Стандарты IEEE 802

- ❑ В спецификации IEEE 802 канальный уровень модели OSI был разбит на два подуровня:
 - ❑ управление логическим каналом (Logical Link Control, LLC);
 - ❑ управление доступом к среде передачи (Media Access Control, MAC).

- ❑ **Подуровень LLC** обеспечивает взаимодействие с сетевым уровнем и предоставляет сервисы с установлением и без установления соединения. Этот подуровень не зависит от метода доступа к среде передачи.

- ❑ **Подуровень MAC** описывает протоколы, реализующие различные методы доступа к среде передачи, отвечает за физическую адресацию, формирование кадров и обнаружение ошибок.

- ❑ Физический уровень определяет электрические/оптические спецификации, механические интерфейсы, кодирование и синхронизацию битов и зависит от протокола подуровня MAC.

Протокол LLC

□ Протокол LLC:

- определен стандартом IEEE 802.2;
- занимает промежуточное положение между протоколами сетевого уровня и протоколами подуровня MAC;
- предоставляет сервисы протоколам сетевого уровня и взаимодействует с множеством протоколов MAC-подуровня (семейством протоколов Ethernet, Wi-Fi и др.);
- предоставляет сервисы с установлением и без установления соединения;
- участвует в процессе инкапсуляции.

□ Протокол LLC помещает пакет сетевого уровня в свой кадр и добавляет адресную

Протокол LLC

❑ В качестве примера можно привести следующие значения SSAP:

- ❑ 0x42 – Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1D);
- ❑ 0xAA – SNAP;
- ❑ 0xE0 – Novell;
- ❑ 0x06 – IP.

❑ Кадр LLC помещается в кадр MAC-подуровня при этом флаги улапываются

Флаг 01111110	Адрес точки входа сервиса назначения (DSAP)	Адрес точки входа сервиса назначения (SSAP)	Поле управления (Control)	Данные (Data)	Флаг 01111110
------------------	---	---	------------------------------	---------------	------------------

- ❑ Реализация протокола LLC зависит от конкретного стека протоколов. В современных сетях функции протокола LLC обычно выполняются протоколами транспортного уровня, такими как TCP и UDP.
- ❑ В настоящее время протокол LLC служит для идентификации протоколов верхнего уровня, пакеты которых пересылаются с помощью кадров протоколов MAC-подуровня семейства IEEE 802.

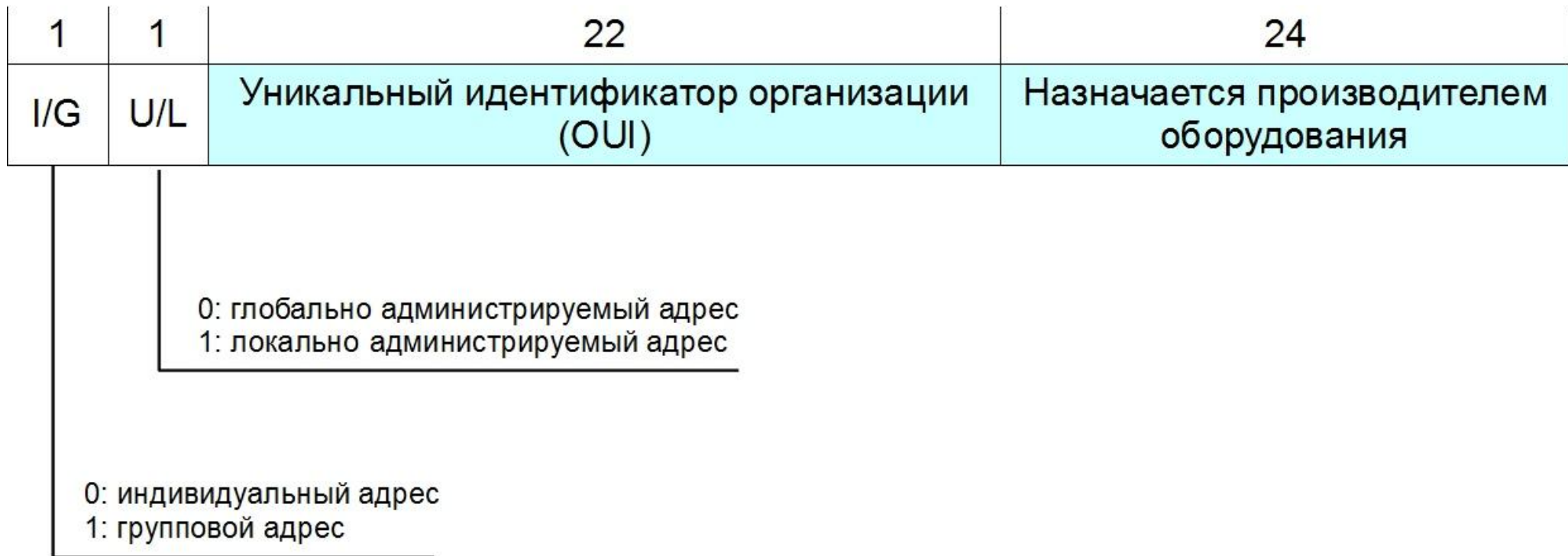
Подуровень MAC

- Подуровень MAC:
 - описывает протоколы, реализующие различные методы доступа к разделяемой среде;
 - отвечает за физическую адресацию;
 - отвечает за формирование кадров и обнаружение ошибок.

- На **MAC-подуровне** реализованы следующие протоколы локальных и городских сетей, которые получили широкое распространение:
 - 802.3 – семейство протоколов Ethernet;
 - 802.11 – семейство протоколов беспроводных локальных сетей;
 - 802.15 – беспроводные персональные сети (WPAN), Bluetooth;

Понятие MAC-адреса

- Стандарты IEEE определяют MAC-адрес, длиной 48 бит (6 октетов).

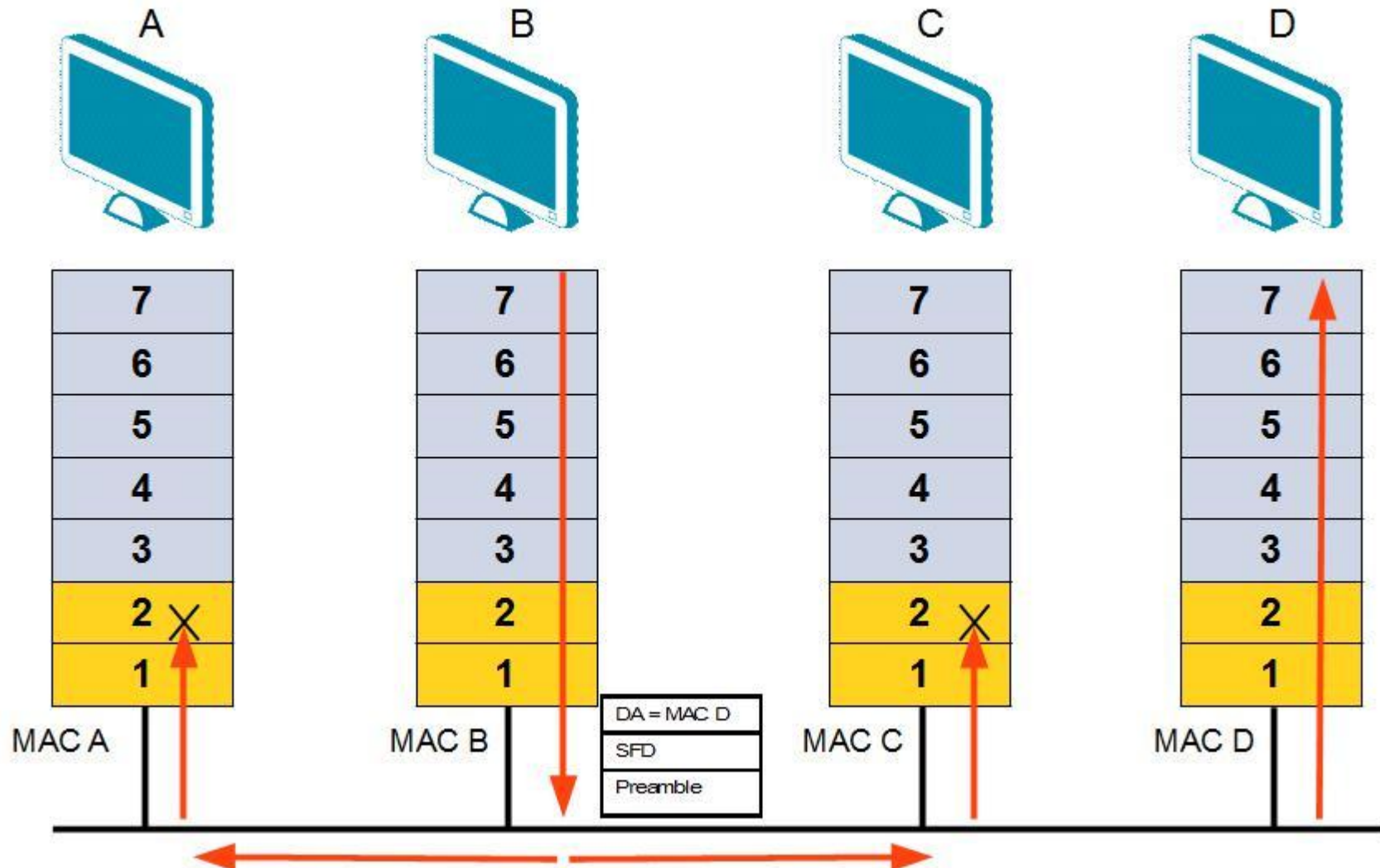


- Существует два вида групповых адресов:

- *многоадресный* или *групповой (multicast)* – адрес, ассоциированный с группой узлов сети;
- *широковещательный (broadcast)* – адрес, ассоциированный со всеми узлами сети. Его значение – 0xFF-FF-FF-FF-FF-FF

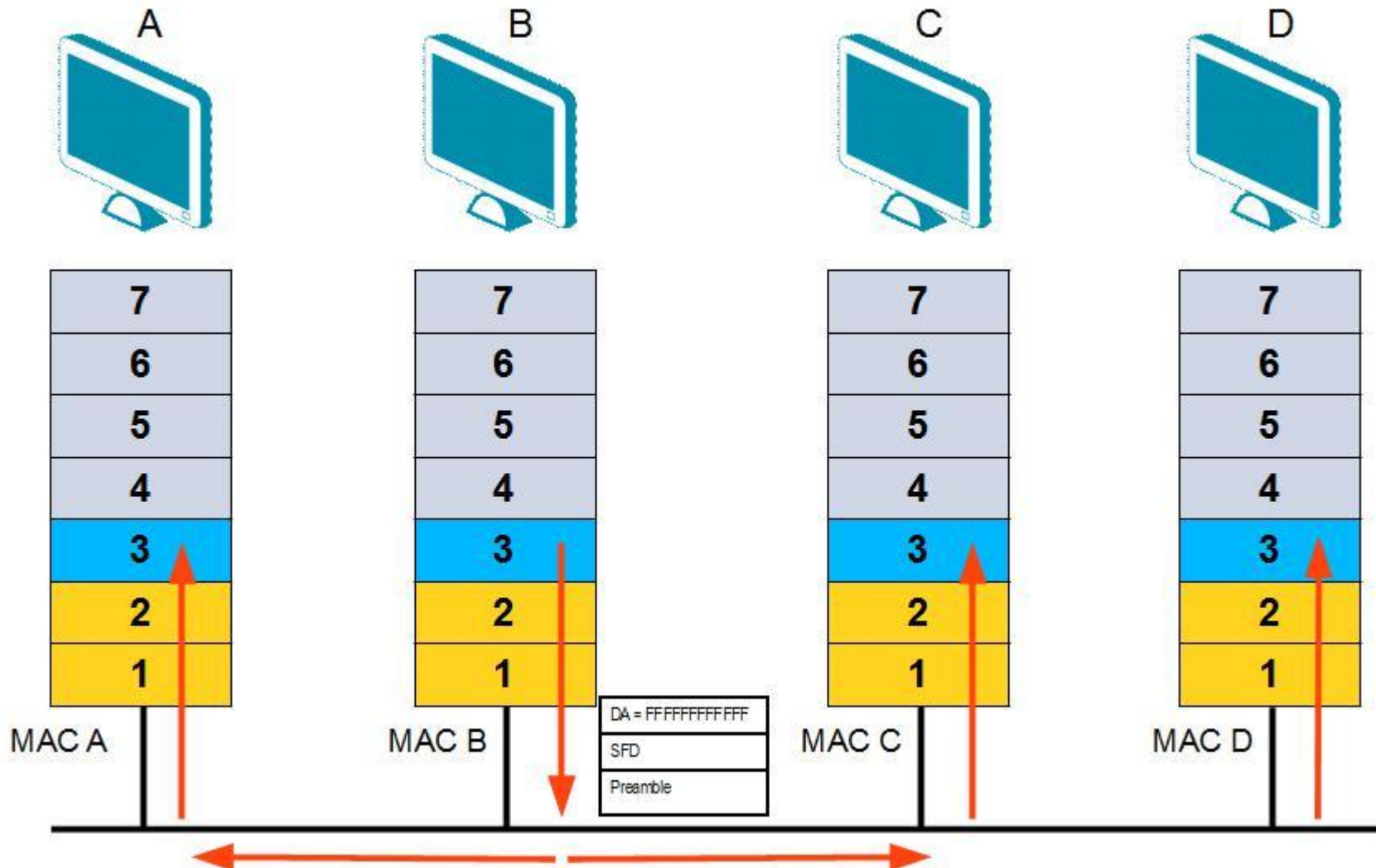
Понятие MAC-адреса

Передача с использованием индивидуального MAC-адреса



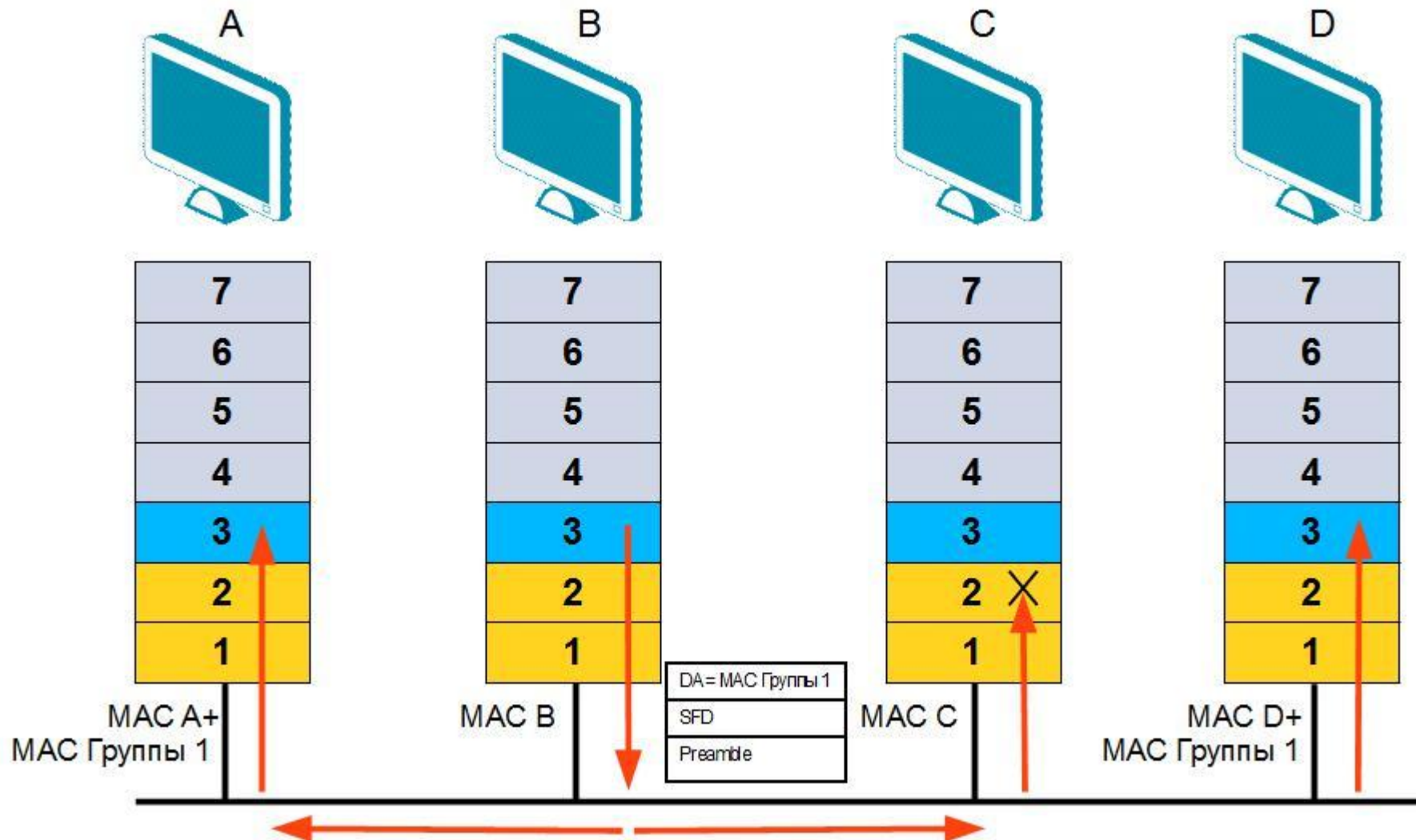
Понятие MAC-адреса

Передача с использованием широковещательного MAC-адреса



Понятие MAC-адреса

Передача с использованием группового MAC-адреса



Сетевые адаптеры

Для подключения компьютера к сети и взаимодействия с другими сетевыми устройствами используется **сетевой адаптер** (Network Interface Card, NIC).

□ По конструкторской реализации сетевые адаптеры делятся на:

- интегрированные в материнскую плату компьютера или ноутбука;
- внутренние, представляющие собой отдельную печатную плату, устанавливаемую в слот PCI, PCI

□

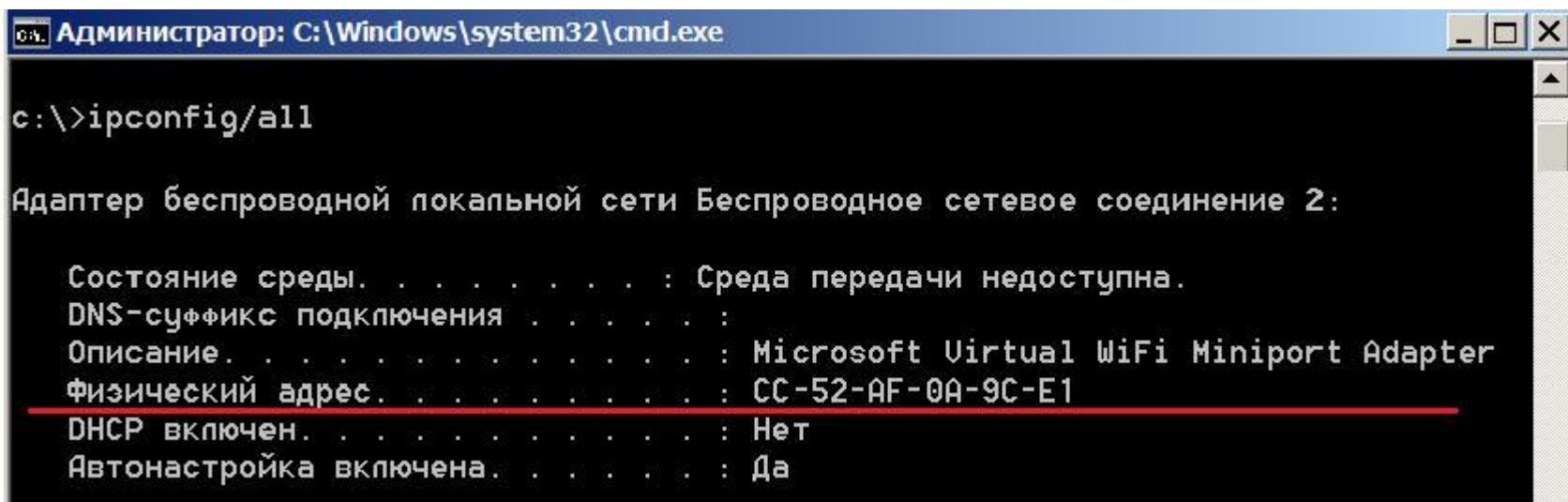


ПИ
US

Сетевые адаптеры

Для того чтобы узнать MAC-адрес сетевого адаптера компьютера в ОС Windows используется следующая команда:

ipconfig /all



```
Администратор: C:\Windows\system32\cmd.exe

c:\>ipconfig/all

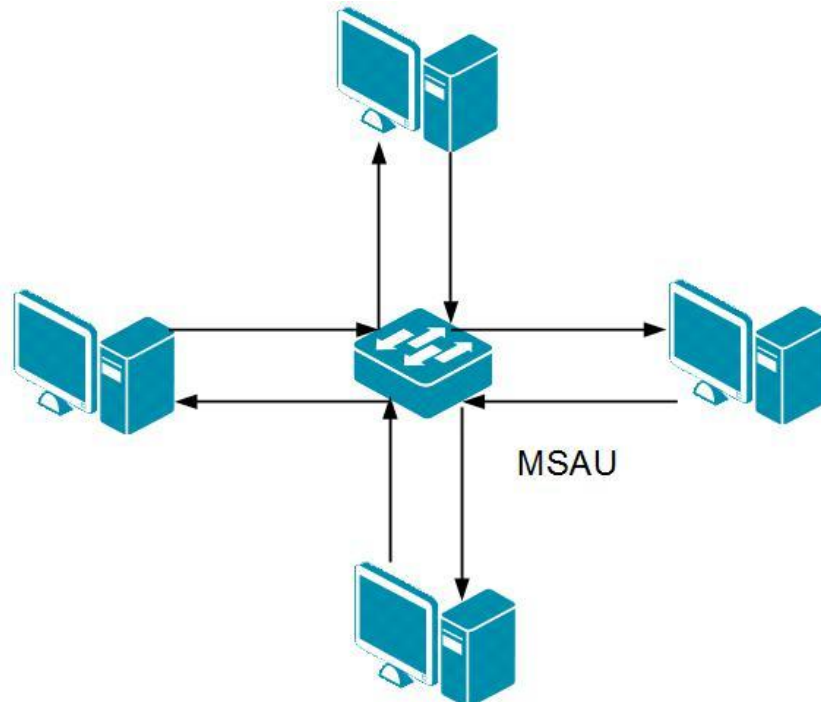
Адаптер беспроводной локальной сети Беспроводное сетевое соединение 2:

Состояние среды. . . . . : Среда передачи недоступна.
DNS-суффикс подключения . . . . . :
Описание. . . . . : Microsoft Virtual WiFi Miniport Adapter
Физический адрес. . . . . : CC-52-AF-0A-9C-E1
-----
DHCP включен. . . . . : Нет
Автонастройка включена. . . . . : Да
```

Технологии локальных сетей

Технология Token Ring

- ❑ Эта технология канального уровня была разработана компанией IBM в начале 1980 гг., а затем стандартизирована IEEE в проекте 802, как спецификация IEEE 802.5.
- ❑ Логически сеть Token Ring представляет собой кольцо, а физически – звезду.
- ❑ Для объединения компьютеров в сетях Token Ring используются концентраторы – *устройства многостанционного доступа (MSAU, MultiStation Access Unit)*.
- ❑ Для получения доступа к среде используется *метод передачи маркера (token)*.



Технологии локальных сетей

Технология Token Ring

- ❑ **Максимальная скорость передачи** - 4 и 16 Мбит/с;
- ❑ **Среда передачи** – экранированная и неэкранированная витая пара;
- ❑ **Максимальная длина сегмента:**
 - ❑ UTP – 150 м (для 4 Мбит/с) или 60 м (для 16 Мбит/с);
 - ❑ STP – 300 м (для 4 Мбит/с) или 100 м (для 16 Мбит/с).
- ❑ **Максимальное количество станций в сегменте:**
 - ❑ **Достоинства:**
 - ❑ UTP – 72 станции;
 - ❑ простота расчета задержки передачи между любыми двумя устройствами;
 - ❑ STP – 260 станций;
 - ❑ отсутствие коллизий;
 - ❑ **Недостатки:**
 - ❑ высокая стоимость, низкая совместимость оборудования;
 - ❑ невысокая скорость передачи;

Технологии локальных сетей

Технология FDDI

□ Стандарт FDDI (Fiber Distributed Data Interface – волоконно-оптический интерфейс передачи данных), разработанный в середине 80-х годов комитетом X3T9.5 ANSI.

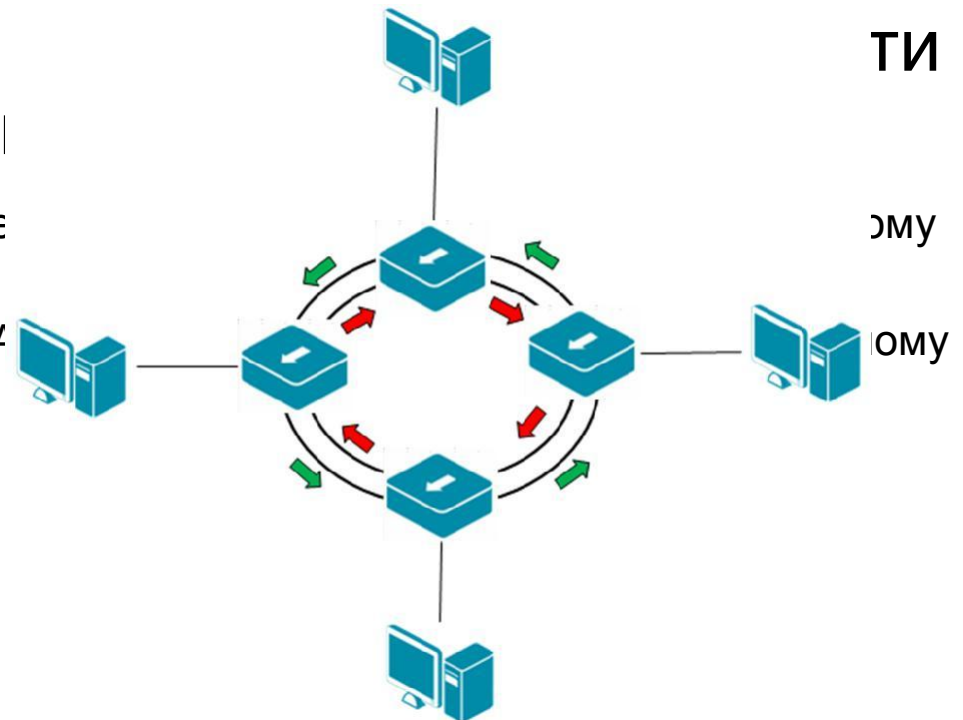
Стек FDDI

Канальный уровень	802.2 LLC	FDDI SMT
	FDDI MAC	
Физический уровень	FDDI PHY	
	FDDI PMD	

Технологии локальных сетей

Технология FDDI

- ❑ Сеть FDDI строится на основе двух колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети.
- ❑ Основными компонентами сети FDDI являются станции и концентраторы.
- ❑ Для подключения станций может быть использован один из двух типов подключения:
 - ❑ **Одиночное подключение** (Single Attachment, SA) — подключение к одному концентратору. Высокая отказоустойчивость.
 - ❑ **Двойное подключение** (Dual Attachment, DA) — подключение к двум концентраторам. Высокая отказоустойчивость.



Технологии локальных сетей

Технология FDDI

- Максимальная скорость передачи - 100 Мбит/с;**
- Среда передачи – одномодовый и многомодовый волоконно-оптический кабель;**
- Максимальная длина сегмента:**
 - многомодовый кабель – 2 км;
 - одномодовый кабель – 20 км.
- Максимальное количество станций в кольце – 500;**
- Максимальная протяженность сети – 100 км.**

Технология Ethernet

Технология Ethernet является самой распространенной на сегодняшний день технологией локальных сетей благодаря своей простоте и универсальности.

- В 1985 г. – опубликован стандарт Ethernet (IEEE 802.3).
- В 1995 г. – опубликован стандарт Fast Ethernet (IEEE 802.3u).
- В 1998 г. – опубликован стандарт Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z и 802.3ab).
- В 2002 г. – опубликован стандарт 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae).
- В 2010 г. – опубликован стандарт 40 и 100 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ba).

Технология Ethernet

Форматы кадров Ethernet

Стандарт IEEE 802.3-2012 определяет следующую структуру кадра, обязательную для всех MAC-реализаций.

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46 – 1500, 1504 или 1982 байта		4 байта	
Preamble	SFP	Destination Address	Source Address	Length/Type	Data	PAD	FCS	Extension
		64-2000 байта						

Минимальная длина кадра Ethernet – 64 байта;

Максимальная длина:

- стандартного кадра Ethernet – 1518 байт;
- кадра Ethernet с тегом стандарта IEEE 802.1Q – 1522 байта;
- расширенного кадра Ethernet – 2000 байт.

Технология Ethernet

Форматы кадров Ethernet

- На практике существует четыре формата кадров Ethernet:
 - кадр Ethernet II (Ethernet версии 2 или Ethernet DIX);
 - кадр IEEE 802.3 /LLC;
 - кадр Ethernet SNAP;
 - кадр Raw 802.3 (Novell 802.3).

- Разные типы кадра имеют некоторые отличия в формате, но могут сосуществовать в одной физической среде.

- Наибольшее распространение получил кадр Ethernet II.

Технология Ethernet

Кадр IEEE 802.3/LLC

- ❑ Заголовок кадра IEEE 802.3/LLC является результатом объединения полей заголовков кадров, определенных в стандартах IEEE 802.3 и IEEE 802.2.
- ❑ Кадр IEEE 802.3 является кадром MAC-подуровня, поэтому в соответствии со стандартом IEEE 802.2 в его поле данных вкладывается кадр подуровня LLC с удаленными флагами начала и конца кадра.

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46 – 1500 байт	4 байта	
Preamble	SFP	Destination Address	Source Address	Length	Data	PAD	FCS

Значение $\leq 0x05DC$ (1500 дес.),
то кадр 802.3

1 байт	1 байт	1 или 2 байта
DSAP	SSAP	Control

Технология Ethernet

Кадр Ethernet II

- ❑ Кадр Ethernet II отличается от кадра IEEE 802.3/LLC тем, что после поля Source Address (адрес источника) следует поле Type (тип), которое используется для указания типа протокола верхнего уровня, вложившего пакет в поле данных кадра.
- ❑ Поле Length в кадре отсутствует.
- ❑ Для правильной интерпретации, значения в поле Type больше или равны 0x0600 (1536 в десятичной системе счисления).

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46 – 1500 байт		4 байта
Preamble	SFP	Destination Address	Source Address	Type	Data	PAD	FCS

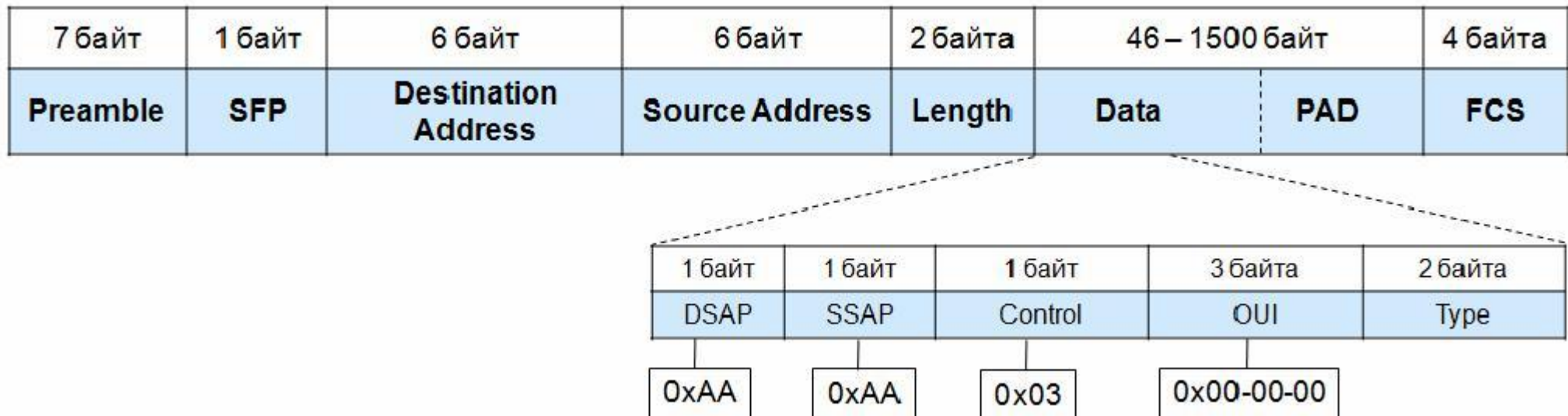
Значение $\geq 0x0600$ (1536 дес.),
то кадр Ethernet II

IP v4 0x0800
IP v6 0x86DD
ARP 0x0806
802.1Q 0x8100

Технология Ethernet

Кадр Ethernet SNAP

- ❑ Кадр Ethernet SNAP является расширением кадра IEEE 802.3/LLC за счет введения дополнительного заголовка протокола SNAP, состоящего из двух полей:
 - ❑ OUI (Organizational Unique Identifier) – идентификатор организации, которая контролирует коды в поле Type;
 - ❑ Type (тип) – аналогично полю Type кадра Ethernet II.
- ❑ Так как SNAP представляет собой протокол, вложенный в протокол LLC, то в полях DSAP и SSAP записывается код 0xAA, отведенный для протокола SNAP.



Технология Ethernet

Кадр Raw 802.3 (Novell 802.3)

- ❑ Кадр Raw 802.3 (Novell 802.3) представляет собой внутреннюю модификацию IEEE 802.3 без заголовка LLC.
- ❑ Компания Novell долгое время не использовала поле идентификации протокола верхнего уровня в своей ОС Novell Netware, т.к. в сетях Novell единственным протоколом сетевого уровня был IPX.
- ❑ В настоящее время Novell использует кадр IEEE 802.3/ LLC.

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46 – 1500 байт	4 байта	
Preamble	SFP	Destination Address	Source Address	Length	Data	PAD	FCS

Технология Ethernet

Процедура распознавания формата кадров



Технология Ethernet

Jumbo-фреймы

- ❑ В компьютерных сетях **Jumbo-фреймы** (Jumbo-frame) – это кадры Ethernet, размер поля данных которых может достигать 10 000 байт.
- ❑ Jumbo-фреймы не являются частью стандарта IEEE 802.3.
- ❑ Использование Jumbo-фреймов позволяет передавать больше информации с меньшими усилиями, т.к. уменьшается нагрузка на центральный процессор и повышается пропускная способность канала связи, за счет уменьшения количества передаваемых кадров и сокращения служебной информации, добавляемой к ним.
- ❑ Jumbo-фреймы поддерживают многие модели коммутаторов и сетевых адаптеров Fast/Gigabit Ethernet/10 Gigabit Ethernet.

Технология Ethernet

Дуплексный и полудуплексный режимы работы

□ Стандарт IEEE 802.3-2012 определяет два режима работы MAC-подуровня:

- **полудуплексный (half-duplex)** – использует метод CSMA/CD для доступа узлов к разделяемой среде. Узел может только принимать или передавать данные в один момент времени, при условии получения доступа к среде передачи;
- **полнодуплексный (full-duplex)** – позволяет паре узлов, имеющих соединение «точка-точка», одновременно принимать и передавать данные. Для этого каждый узел должен быть подключен к выделенному порту коммутатора.

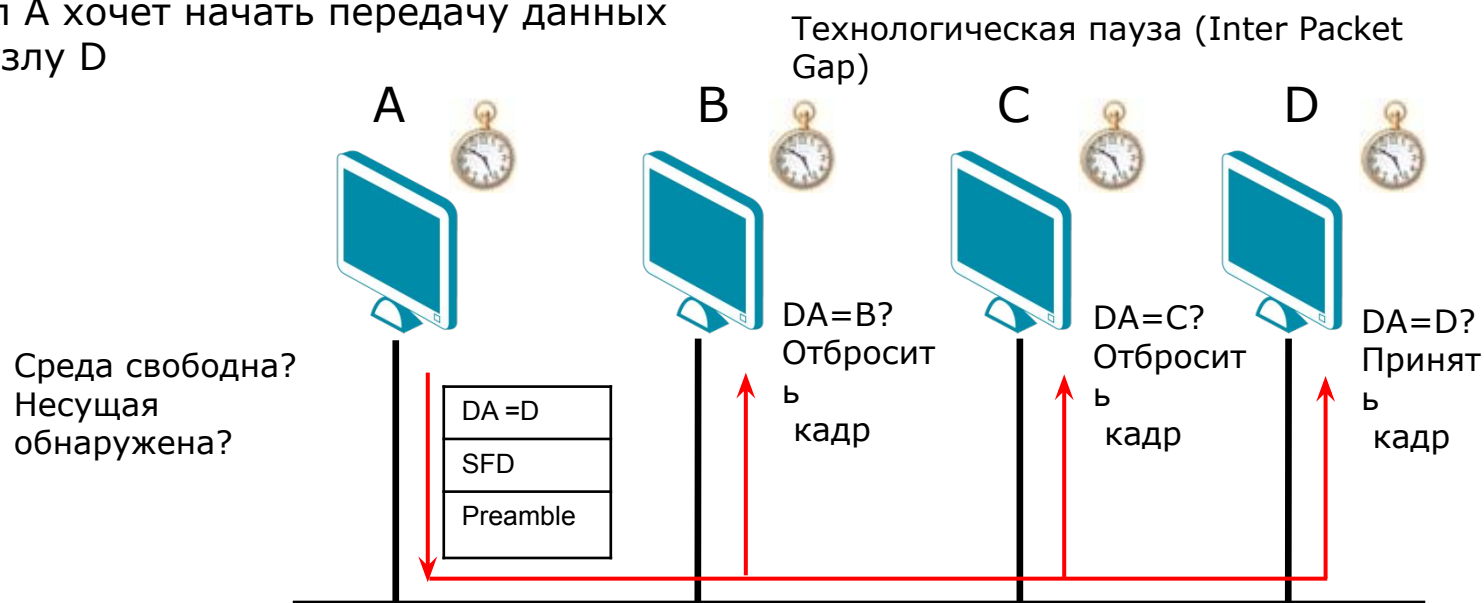
Технология Ethernet

Метод доступа CSMA/CD

- ❑ *Метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий* (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection, CSMA/CD) используется для организации доступа узлов к разделяемой среде передачи.
- ❑ Метод CSMA/CD основан на конкуренции (contention) узлов за право доступа к сети и включает следующие процедуры:

- ❑ контроль несущей;
- ❑ обнаружение коллизий.

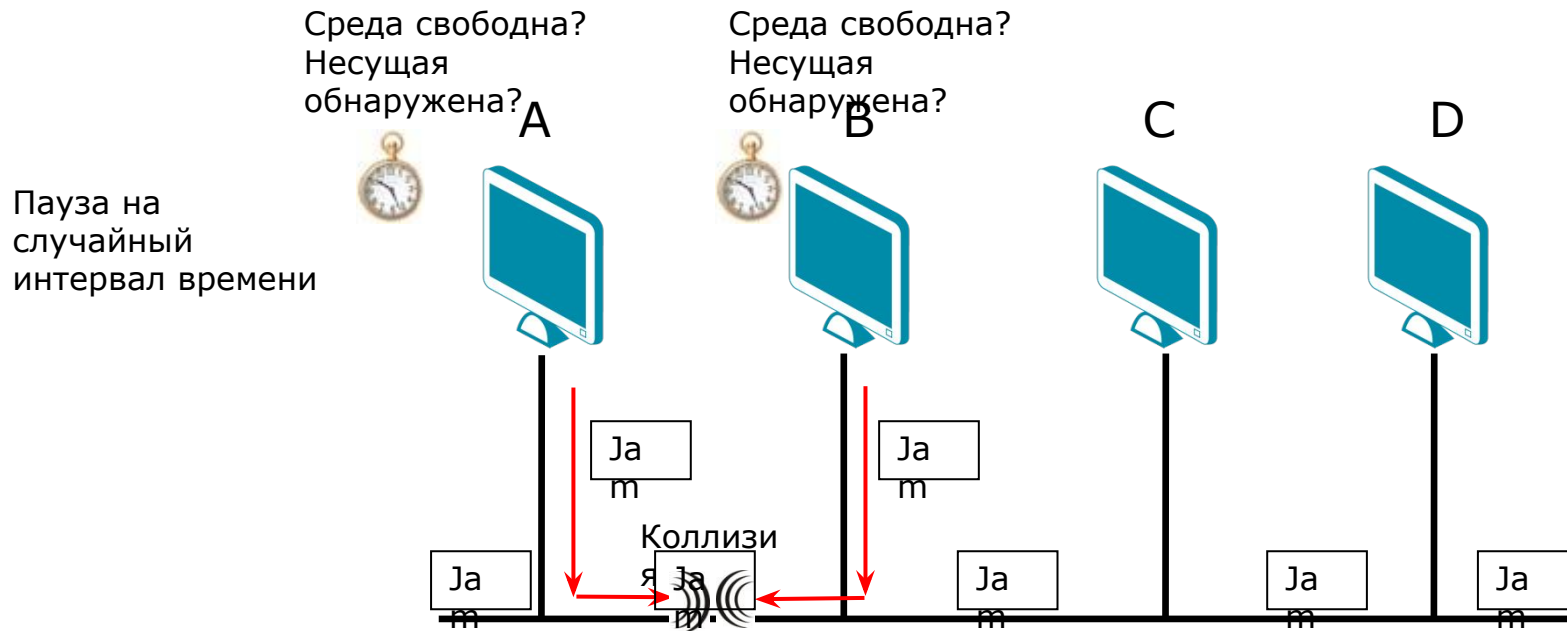
Узел A хочет начать передачу данных узлу D



Технология Ethernet

Метод доступа CSMA/CD

Обнаружение коллизий

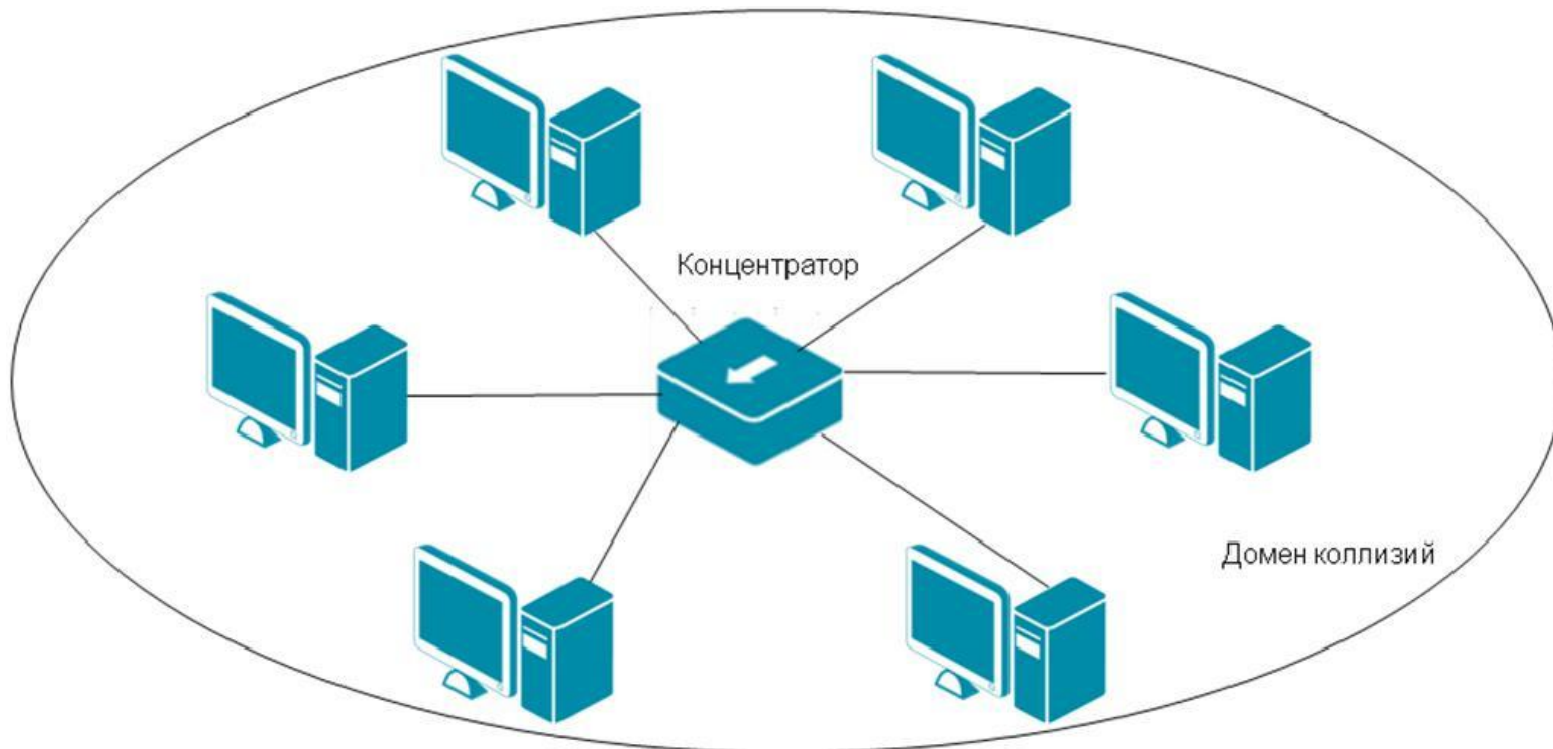


Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить кадр.

Технология Ethernet

Домен коллизий

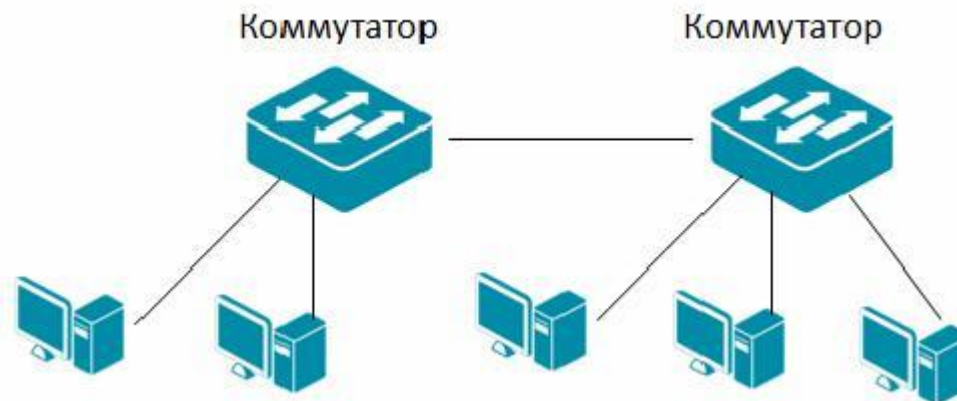
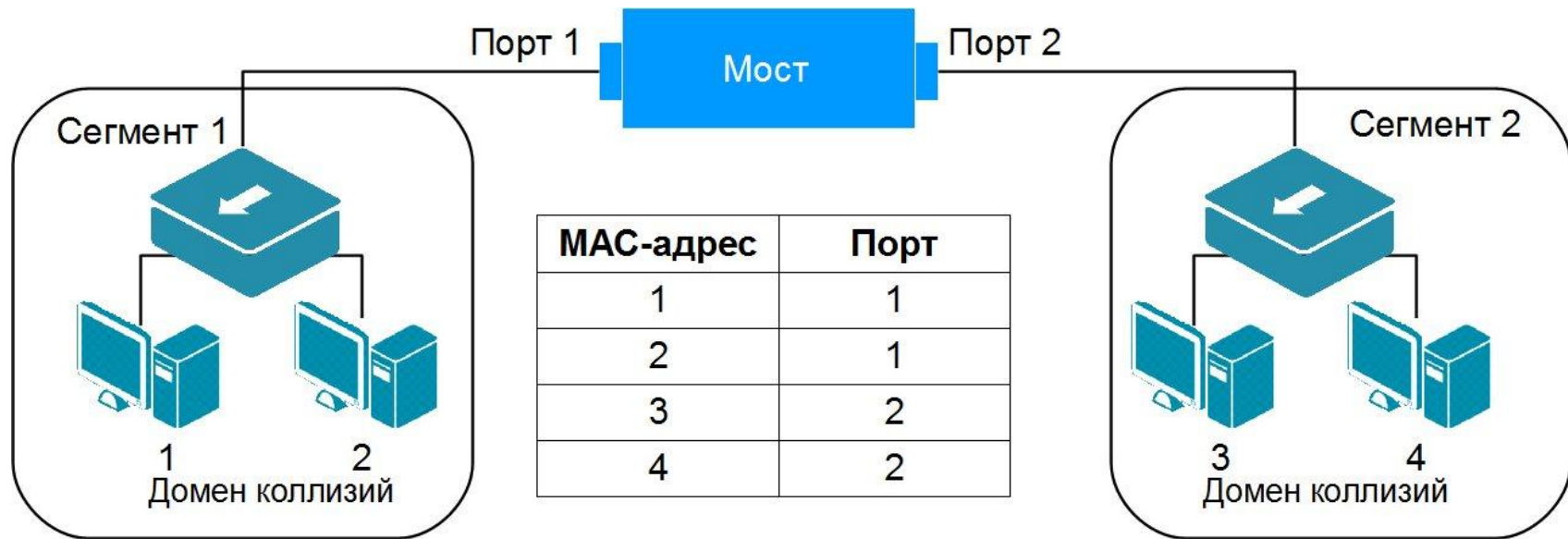
- ❑ В полудуплексной технологии Ethernet независимо от стандарта физического уровня существует понятие **домена коллизий**.
- ❑ **Домен коллизий** (collision domain) – это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части сети она возникла.
- ❑ Сеть Ethernet, построенная на повторителях и концентраторах, образует один домен коллизий.



Технология Ethernet

Коммутируемая сеть Ethernet

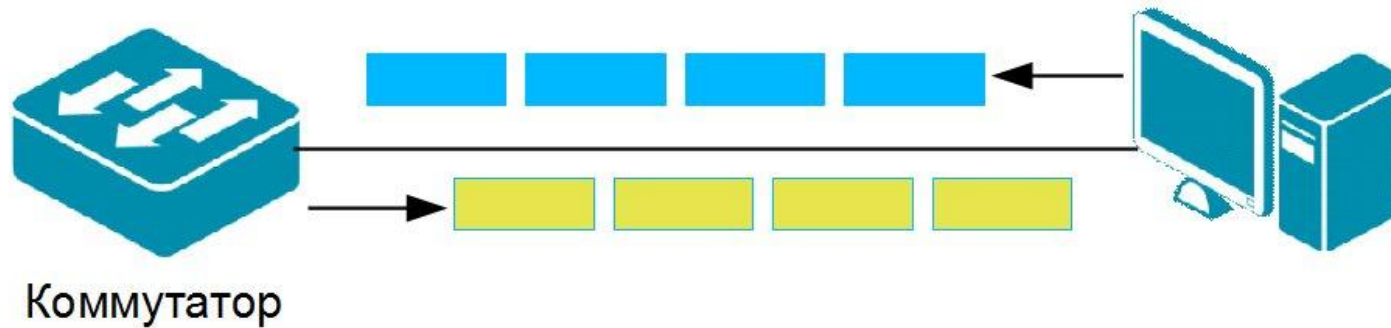
- ❑ *Коммутируемая сеть Ethernet* (Ethernet switched network) – сеть Ethernet, сегменты которой соединены мостами или коммутаторами.



Технология Ethernet

Работа в полнодуплексном режиме

- ❑ Обеспечивает возможность одновременного приема и передачи информации, т.к. к среде передачи подключены только два устройства.
- ❑ Прием и передача ведутся по двум разным физическим каналам «точка-точка».



❑ Достоинства:

- ❑ исключается возникновение коллизий в среде передачи;
 - ❑ увеличивается время, доступное для передачи данных;
 - ❑ удваивается полезная полоса пропускания канала;
 - ❑ каждый канал обеспечивает передачу на полной скорости;
 - ❑ исчезло ограничение на общую длину сети и количество устройств в ней.
- ❑ Спецификации 10, 40 и 100 Gigabit Ethernet поддерживают только полнодуплексный режим работы

Технология Ethernet

Управление потоком в полудуплексном и полнодуплексном режимах

□ *Механизм управления потоком (Flow Control)* позволяет предотвратить потерю данных в случае переполнения буфера принимающего устройства.

□ Для управления потоком в *полудуплексном режиме* обычно используется **метод «обратного давления»** (backpressure).

□ Для управления потоком в *полнодуплексном режиме* используется **стандарт IEEE 802.3х**.

Технология Ethernet

Управление потоком в полудуплексном режиме

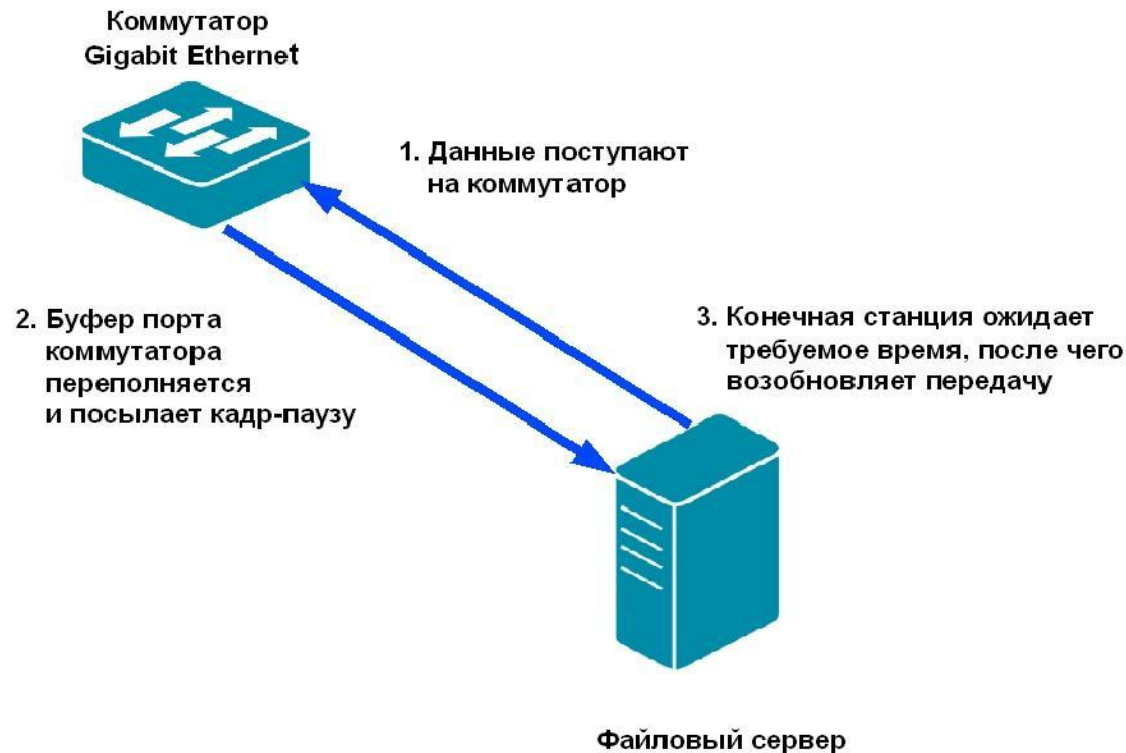
- Метод «обратного давления»** состоит в создании искусственных коллизий в сегменте, который очень интенсивно посылает кадры в коммутатор.
- Коммутатор отправляет искусственно созданную jam-последовательность, отправляемую через тот порт, к которому подключен узел, чтобы приостановить его активность.

Технология Ethernet

Управление потоком в полнодуплексном режиме

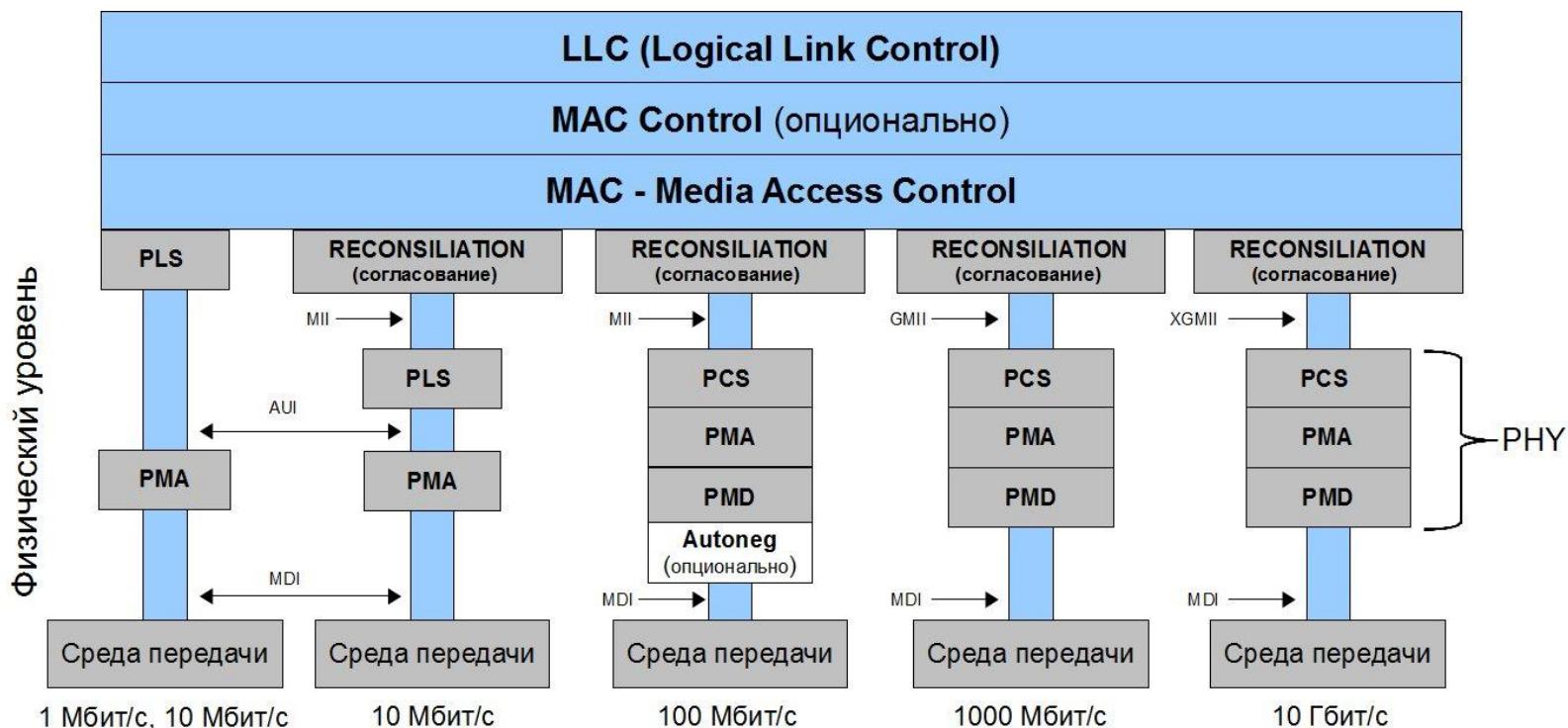
□ Согласно стандарту **IEEE 802.3x** управление потоком осуществляется между MAC-подуровнями с помощью специального кадра-паузы, который автоматически формируется MAC-подуровнем принимающего устройства.

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	2 байта	2 байта	42 байта	4 байта
Преамбула	Начальный ограничитель кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина/тип	Код операции управления MAC (00-01)	Время паузы (от 00-00 до FF-FF)	Зарезервировано	Контрольная сумма кадра



Физический уровень технологии Ethernet

- ❑ Все технологии семейства Ethernet имеют одинаковую реализацию MAC-подуровня – форматы кадров и способы доступа к среде передачи.
- ❑ Эти технологии отличаются реализацией физического уровня, который определяет различные скорости передачи сигналов и типы среды передачи.



MII (MEDIA INDEPENDENT INTERFACE) - независимый от физической среды интерфейс

GMII (GIGABIT MEDIA INDEPENDENT INTERFACE) - гигабитный независимый от физической среды интерфейс

XGMII (10 GIGABIT MEDIA INDEPENDENT INTERFACE) - 10 гигабитный независимый от физической среды интерфейс

AUI (ATTACHMENT UNIT INTERFACE) - интерфейс уровня присоединения

MDI (MEDIUM DEPENDENT INTERFACE) - зависимый от физической среды интерфейс

PLS (PHYSICAL LAYER SIGNALING) - подуровень передачи сигналов

PMA (PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT) - подуровень физического присоединения

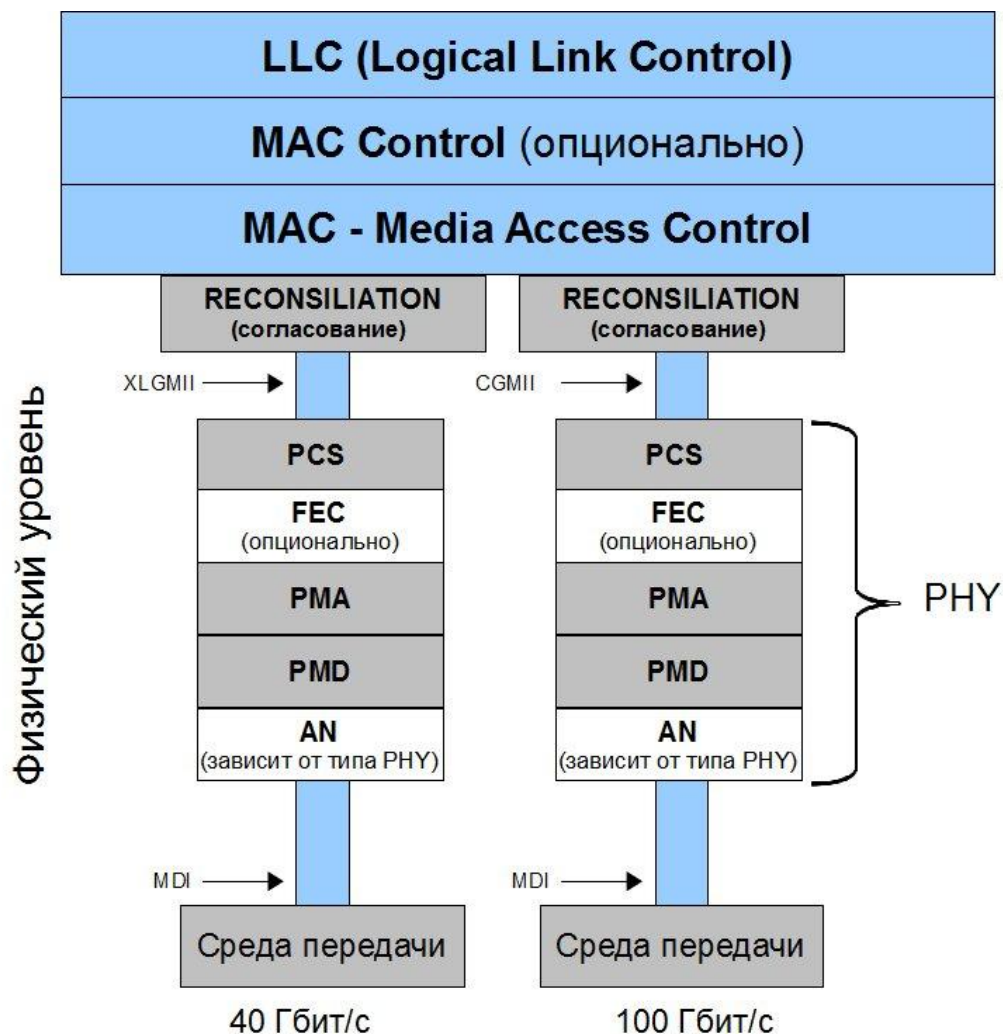
PCS (PHYSICAL CODING SUBLAYER) - подуровень физического кодирования

PHY (PHYSICAL LAYER DEVICE) - устройство физического уровня

PMD (PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT) - подуровень зависимости от физической среды

Autoneg - подуровень автосогласования

Физический уровень технологии Ethernet



PMA (PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT) - подуровень физического присоединения
PCS (PHYSICAL CODING SUBLAYER) - подуровень физического кодирования
PHY (PHYSICAL LAYER DEVICE) - устройство физического уровня
PMD (PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT) - подуровень зависимости от физической среды
FEC(FORWARD ERROR CORRECTION) - подуровень прямой коррекции ошибок
AN - подуровень автосогласования

CGMII (100Gb/s MEDIA INDEPENDENT INTERFACE) - независимый от физической среды интерфейс 100 Гбит/с
XGMII (40Gb/s MEDIA INDEPENDENT INTERFACE) - независимый от физической среды интерфейс 40 Гбит/с
MDI (MEDIUM DEPENDENT INTERFACE) - зависимый от физической среды интерфейс

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Ethernet (10 Мбит/с)

Стандарт	Тип кабеля	Топология	Метод физического кодирования	Максимальная длина сегмента, м	Режим работы
10BASE5	Коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма («толстый Ethernet»)	«Шина»	Манчестерское кодирование	500	Полудуплексный (метод CSMA/CD)
10BASE2	Коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма («тонкий Ethernet»)	«Шина»	Манчестерское кодирование	185	Полудуплексный (метод CSMA/CD)
10BASE-T	Кабель на основе неэкранированной витой пары (используются две пары проводников с диаметром от 0,4 до 0,6 мм)	«Звезда»	Манчестерское кодирование	100	Полудуплексный (метод CSMA/CD) и полнодуплексный
10BASE-F	Многомодовый волоконно-оптический кабель 62.5/125 мкм	«Звезда»	Манчестерское кодирование	1000 (10BASE-FP) 2000 (10BASE-FB) 2000 (10BASE-FL)	Полудуплексный (10BASE-FP, 10BASE-FB, 10BASE-FL) и полудуплексный (10BASE-FL)

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Fast Ethernet (100 Мбит/с)

Стандарт	Тип кабеля	Метод кодирования	Максимальная длина сегмента, м	Режим работы
100BASE-T4	Кабель на основе неэкранированной витой пары категорий 3, 4, 5	8B6T	100	Полудуплексный (метод CSMA/CD)
100BASE-TX	Кабель на основе неэкранированной витой пары категории 5 или экранированной витой пары	4В/5В, MLT-3	100	Полудуплексный (метод CSMA/CD) и полнодуплексный
100BASE-FX	Многомодовый волоконно-оптический кабель 50/125 мкм и 62.5/125 мкм	4В/5В, NRZI	400 (полудуплекс) 2000 (полный дуплекс)	Полудуплексный (метод CSMA/CD) и полнодуплексный

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Fast Ethernet (100 Мбит/с)

Спецификации, используемые для создания каналов связи «точка-точка»

Стандарт	Тип кабеля	Метод кодирования	Максимальная длина сегмента, м	Режим работы
100BASE-LX10	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны 1310 нм)	4В/5В, NRZI	10 000	Полудуплексный и полнодуплексный
100BASE-BX10	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны: 1310 нм восходящий поток, 1550 нм нисходящий)	4В/5В, NRZI	10 000	Полудуплексный и полнодуплексный

Физический уровень технологии Ethernet

- ❑ **Автосогласование** (Auto-Negotiation) – это функция Ethernet (IEEE 802.3-2012 Clause 28, Clause 37, Clause 73), позволяющая двум устройствам, подключенным к одному каналу связи выбрать общие параметры передачи, такие как скорость, режим работы (полнодуплексный/полудуплексный, энергосберегающий/обычный).
- ❑ Автосогласование выполняется полностью на физическом уровне.

- ❑ **Автосогласование позволяет устройствам выполнить следующие операции:**
 - ❑ сообщить партнеру по связи о своей версии Ethernet и дополнительных возможностях;
 - ❑ подтвердить прием и определить общие режимы работы;
 - ❑ отказаться от режимов работы, не поддерживаемых вторым партнером;
 - ❑ настроить каждое устройство на режим наивысшего уровня, поддерживаемый обоими партнерами по связи.

- ❑ Автосогласование впервые появилось как дополнительная функция в спецификациях 100BASE-TX и 100BASE-T4. В стандартах 1000BASE-T, 1000BASE-X, 10GBASE-T оно является обязательной процедурой.

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)

Общее с предыдущими технологиями Ethernet:

- формат кадров;
- полудуплексный режим работы с методом доступа CSMA/CD и дуплексный режим для работы с коммутаторами;
- поддержка всех основных видов кабеля.

Для увеличения диаметра сети при работе в *полудуплексном режиме* используются методы:

- Carrier extension** (расширение несущей): используется MAC-подуровнем для увеличения времени, в течении которого может быть распознана коллизия.
- Packet burst** (пакетная передача): используется MAC-подуровнем для минимизации издержек, связанных с добавлением битов расширения. Этот метод позволяет MAC-подуровню отправлять последовательность кадров, не прерывая при этом контроль над средой передачи.

При работе в *полнодуплексном режиме* эти методы не нужны.

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)

Стандарт	Тип кабеля	Метод кодирования	Максимальная длина сегмента, м	Режим работы
1000BASE-T	Кабель на основе неэкранированной витой пары категории 5, 5е. Для передачи используются четыре пары проводников.	PAM-5	100	Полудуплексный и полнодуплексный
1000BASE-SX	Многомодовый волоконно-оптический кабель 50/125 мкм и 62.5/125 мкм (используется два волокна, длина волны 850 нм)	8B/10B, NRZ	550 (кабель 50/125) 275 (кабель 62.5/125)	Полудуплексный и полнодуплексный
1000BASE-LX	Многомодовый и одномодовый волоконно-оптический кабель 50/125 мкм и 62.5/125 мкм (используется два волокна, длина волны 1310 нм)	8B/10B, NRZ	550 (многомодовый кабель) 5 000 (одномодовый кабель)	Полудуплексный и полнодуплексный
1000BASE-CX	Твинаксиальный кабель	8B/10B, NRZ	25	Полудуплексный и полнодуплексный

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)

□ Спецификации, используемые для создания каналов «точка-точка»

Стандарт	Тип кабеля	Метод кодирования	Максимальная длина сегмента, м	Режим работы
1000BASE-LX10	Многомодовый и одномодовый волоконно-оптический кабель 50/125 мкм и 62.5/125 мкм (используется два волокна, длина волны 1310 нм)	8B/10B, NRZ	550 (многомодовый кабель) 10 000 (одномодовый кабель)	Полудуплексный и полнодуплексный
1000BASE-BX10	Одномодовый волоконно-оптический кабель (используется одно волокно, длина волны: 1310 нм восходящий поток, 1490 нм нисходящий)	8B/10B, NRZ	10 000	Полудуплексный и полнодуплексный

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)

Следующие спецификации являются собственной разработкой производителей и не входят в стандарт:

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
1000BASE-ZX	Одномодовый волоконно-оптический кабель (используется два волокна, длина волны 1550 нм)	80 000
1000BASE-LH	Одномодовый волоконно-оптический кабель (используется два волокна)	100 000

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 10 Gigabit Ethernet (10 Гбит/с)

- Стандарты семейства 10 Gigabit Ethernet на MAC-подуровне поддерживают работу только в полнодуплексном режиме.
- Семейство 10GBASE-X:

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
10GBASE-CX	Твинаксиальный кабель	15
10GBASE-LX4	Многомодовый и одномодовый волоконно-оптический кабель 50/125 мкм и 62.5/125 мкм (4 длины волны с шагом 13,4 нм во втором окне прозрачности (1310 нм))	от 240 до 300 (многомодовый кабель) 10 000 (одномодовый кабель)
10GBASE-KX4	Медный кабель. Предназначен для объединительных плат (Backplane) модульных коммутаторов/маршрутизаторов.	1

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 10 Gigabit Ethernet (10 Гбит/с)

□ Семейство 10GBASE-R:

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
10GBASE-SR	Многомодовый 50/125 мкм и 62.5/125 мкм волоконно-оптический кабель (длина волны 850 нм)	от 66 до 400 (многомодовый кабель 50/125) от 26 до 33 (многомодовый кабель 62.5/125)
10GBASE-LR	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны 1310 нм)	10 000
10GBASE-ER	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны 1550 нм)	40 000
10GBASE-LRM	Многомодовый 50/125 мкм и 62.5/125 мкм волоконно-оптический кабель (длина волны 1300 нм)	220
10GBASE-KR	Медный кабель. Предназначен для объединительных плат (Backplane) модульных коммутаторов/маршрутизаторов.	1

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 10 Gigabit Ethernet (10 Гбит/с)

- ❑ Семейство *10GBASE-W* относится к WAN PHY и предназначено для адаптации скорости передачи и форматов Ethernet к скорости и форматам технологий SONET STS-192c и SDH VC-4-64c.
- ❑ Без подуровня WIS семейство спецификаций 10GBASE-W не отличается от семейства спецификаций 10GBASE-R.
- ❑ Интерфейс 10GBASE-W может взаимодействовать только с другим интерфейсом 10GBASE-W.

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
10GBASE-SW	Многомодовый 50/125 мкм и 62.5/125 мкм волоконно-оптический кабель (длина волны 850 нм)	от 66 до 400 (многомодовый кабель 50/125) от 26 до 33 (многомодовый кабель 62.5/125)
10GBASE-LW	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны 1310 нм)	10 000
10GBASE-EW	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны 1550 нм)	40 000

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 10 Gigabit Ethernet (10 Гбит/с)

Стандарт	Тип кабеля	Метод кодирования	Максимальная длина сегмента, м
10GBASE-T	4-х парный кабель на основе сбалансированной витой пары Cat. 6 или Cat. 6a	64B/65B, PAM2	100 55 (неэкранированная витая пара Cat. 6a)

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 40 и 100 Gigabit Ethernet (40 и 100 Гбит/с)

- Технологии 40 и 100 Gigabit Ethernet на настоящий момент являются самыми высокоскоростными технологиями компьютерных сетей.
- В технологиях 40 и 100 Gigabit Ethernet остались прежними формат кадра, а также его минимальный и максимальный размер.
- На MAC-подуровне поддерживают работу только в полнодуплексном режиме.
- Максимальная длина сегмента составляет 40 000 м при использовании одномодового волоконно-оптического кабеля.

Физический уровень технологии Ethernet

Спецификации физической среды 40 Gigabit Ethernet (40 Гбит/с)

□ Семейство 40GBASE-R:

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
40GBASE-KR4	Медный кабель. Предназначен для объединительных плат (Backplane) модульных коммутаторов/маршрутизаторов.	1
40GBASE-CR4	Твинаксиальный кабель	7
40GBASE-SR4	Многомодовый 50/125 мкм волоконно-оптический кабель класса OM3 или OM4 (используется четыре волокна; длина волны 850 нм)	100 (при использовании кабеля класса OM3) 150 (при использовании кабеля класса OM4)
40GBASE-FR	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длина волны: передача – 1550 нм, прием – 1310 нм и 1550 нм)	2 000
40GBASE-LR4	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длины волн: 1271 нм, 1291 нм, 1311 нм и 1331 нм)	10 000

Физический уровень технологии Ethernet

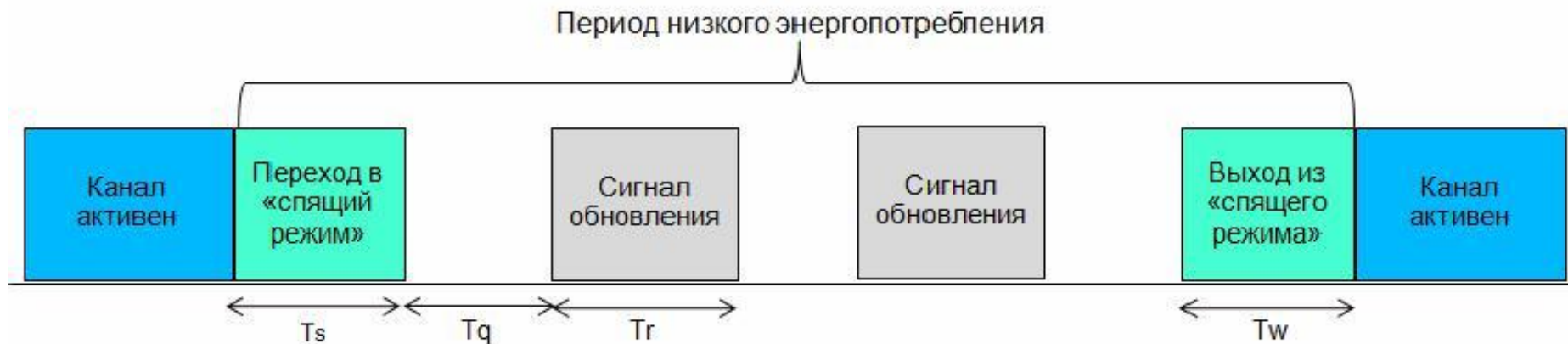
Спецификации физической среды 100 Gigabit Ethernet (100 Гбит/с)

□ Семейство 100GBASE-R:

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента, м
100GBASE-CR10	Твинаксиальный кабель	7
100GBASE-SR10	Многомодовый 50/125 мкм волоконно-оптический кабель класса OM3 или OM4 (используется десять волокон; длина волны 850 нм)	100 (при использовании кабеля класса OM3) 150 (при использовании кабеля класса OM4)
100GBASE-LR4	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длины волн: 1295.56 нм, 1300.05 нм, 1304.58 нм и 1309.14 нм)	10 000
100GBASE-ER4	Одномодовый волоконно-оптический кабель (длины волн: 1295.56 нм, 1300.05 нм, 1304.58 нм и 1309.14 нм)	40 000

Энергоэффективный Ethernet

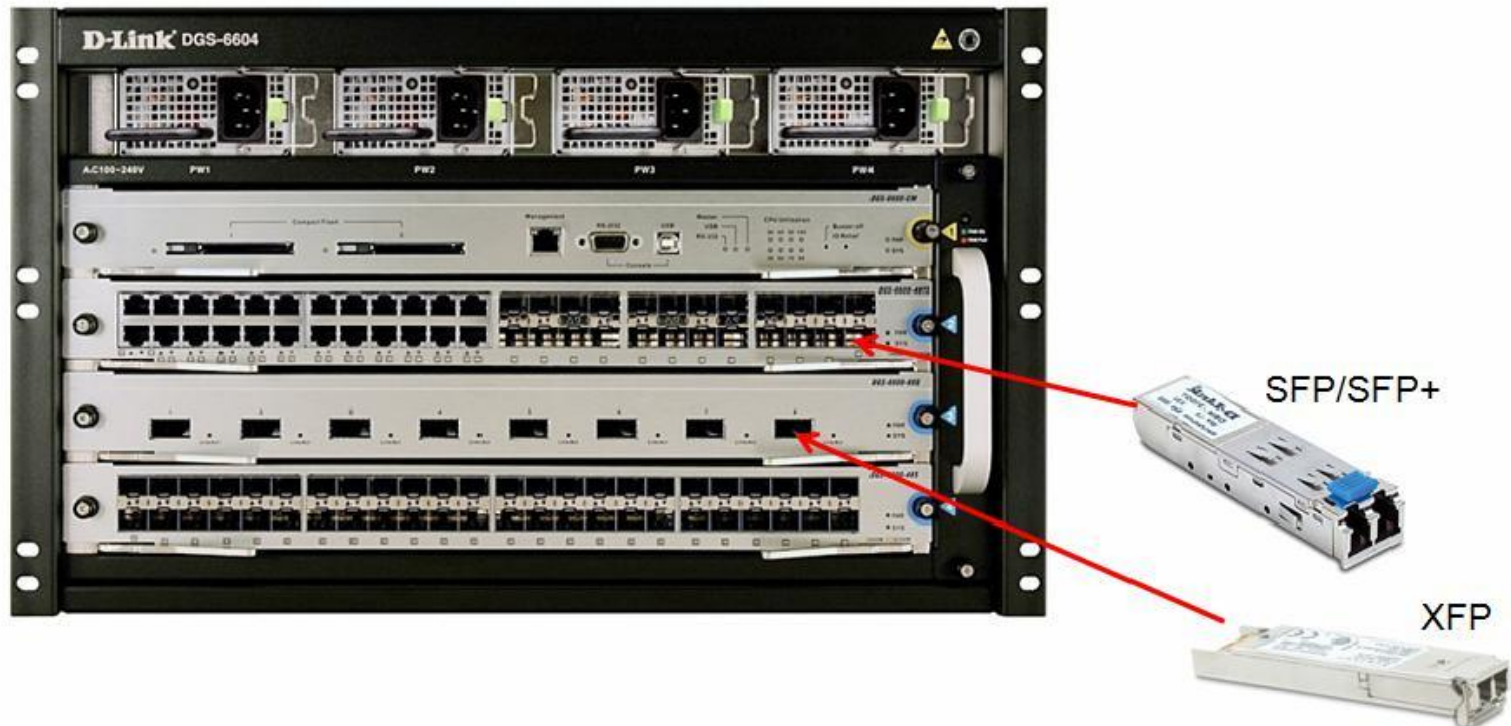
- ❑ В 2010 г. институт IEEE принял стандарт на энергоэффективный Ethernet **IEEE 802.3az Energy-Efficient Ethernet (EEE)**.
- ❑ В настоящее время стандарт IEEE 802.3az является частью стандарта IEEE 802.3-2012 (Clause 78).
- ❑ Технология EEE автоматически уменьшает потребление энергии в то время, когда по каналам связи не ведется передача данных.
- ❑ В ней предусмотрена возможность обмена информацией о поддержке EEE между партнерами по связи во время процедуры автосогласования.
- ❑ Если один из партнеров не поддерживает EEE, то перехода в режим низкого энергопотребления не будет.



Сменные интерфейсные модули

□ Существует несколько видов сменных интерфейсных модулей:

- GBIC (Gigabit Interface Converter);
- SFP (Small Form Factor Pluggable);
- SFP+ (Enhanced Small Form Factor Pluggable);
- XFP (
- QSFP



Сменные интерфейсные модули

Модули GBIC

- GBIC (Gigabit Interface Converter) - самая первая спецификация комитета SFF (SFF-8053) на компактные сменные интерфейсные модули, описывающая конвертеры гигабитного интерфейса.
- Модули GBIC поддерживают стандарты Gigabit Ethernet или Fibre Channel для передачи данных, голоса и видео по медным или оптическим кабелям, но преимущественно представляют собой оптические трансиверы для приема или передачи сигнала по многомодовому или одномодовому волокну.



Сменные интерфейсные модули

Модули SFP

- Модули SFP (Small Form Factor Pluggable) - компактная модификация сменного интерфейса для волн 850, 1310 и 1550 нм.
- Посадочный размер SFP (форм-фактор) определяется величиной медного разъема RJ-45.
- Интерфейсы SFP поддерживают Ethernet (на 10, 100, 1000 Мбит/с), SONET/SDH (OC3/12/48 и STM 1/4/16), Fibre Channel (1 и 2 Гбит/с).
- Существуют модули, поддерживающие технологию WDM.
- Модули могут поддерживать систему цифровой диагностики для мониторинга состояния оптических линий.



Сменные интерфейсные модули

Модули XFP

- Оптические трансиверы XFP (10 Gigabit Small Form Factor Pluggable) для волн 850, 1310 и 1550 нм поддерживают 10 Gigabit Ethernet.
- Существуют трансиверы для одномодового и многомодового оптоволокна.
- XFP имеют несколько большие размеры, чем трансиверы SFP.
- Модули могут поддерживать систему цифровой диагностики для мониторинга состояния оптических линий.
- Существуют модули, поддерживающие технологию CWDM.



Сменные интерфейсные модули

Модули SFP+

- Оптические трансиверы SFP+ поддерживают Ethernet на скорости 10 Гбит/с.
- Требования к модулям SFP+, которые являются расширенной версией SFP, определены в спецификации SFF-8431.
- По сравнению с трансиверами XFP, модули SFP+ обладают меньшими габаритными размерами и тепловыделением, что позволяет повысить плотность размещения портов 10 Гбит/с на корпусе телекоммуникационных устройств.
- Модули могут поддерживать систему цифровой диагностики для мониторинга состояния оптических линий.
- Существуют модули, поддерживающие технологии WDM. CWDM.



Сменные интерфейсные модули

Модули QSFP/QSFP+

- ❑ Первоначальная версия трансиверов поддерживала для каждого канала скорости 2,5 Гбит/с и 5 Гбит/с и называлась «QSFP».
- ❑ Последняя версия трансиверов называется «QSFP+». Скорость каждого канала в QSFP+ составляет 10 Гбит/с (в соответствии со спецификациями SFF-8635, SFF-8636) и 28 Гбит/с (в соответствии со спецификацией SFF-8665).
- ❑ Один модуль QSFP+ способен заменить четыре стандартных модуля SFP+, а занимает на корпусе оборудования примерно столько же места, сколько занимает модуль XFP.

