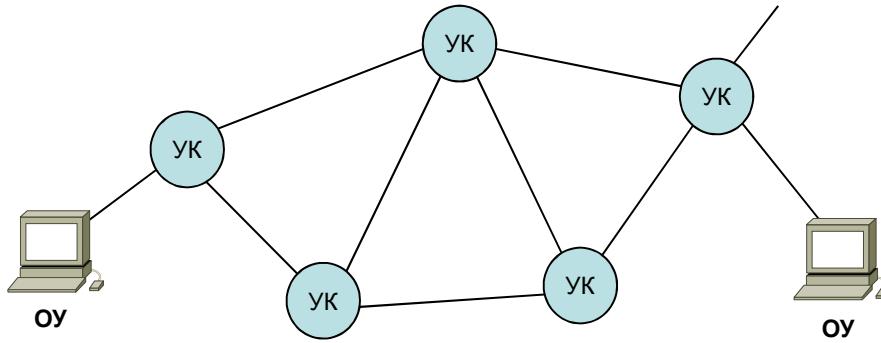


Сети связи

Сеть связи состоит из трех частей:

- систем передачи информации (линий и аппаратуры)
- устройств коммутации
- оконечных устройств



Классификация сетей

Вид передаваемой информации:

- Телефонные
- Передачи данных
- Телевизионного вещания
- Радиовещания
- Мультисервисные
- ...

Размер сети:

- PAN
- LAN
- MAN
- WAN

Среда передачи:

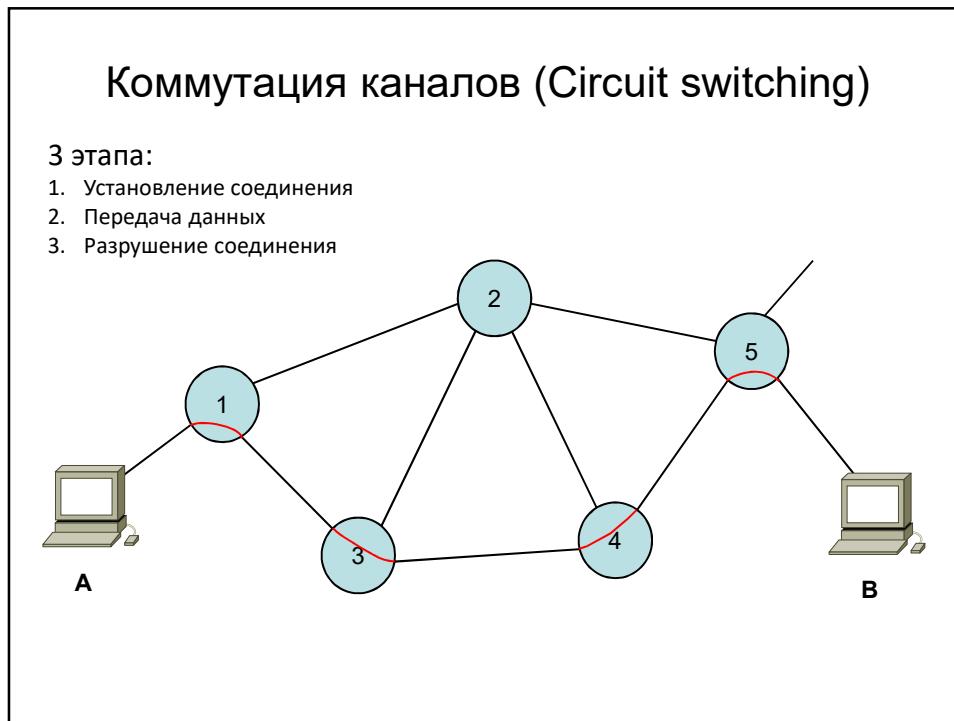
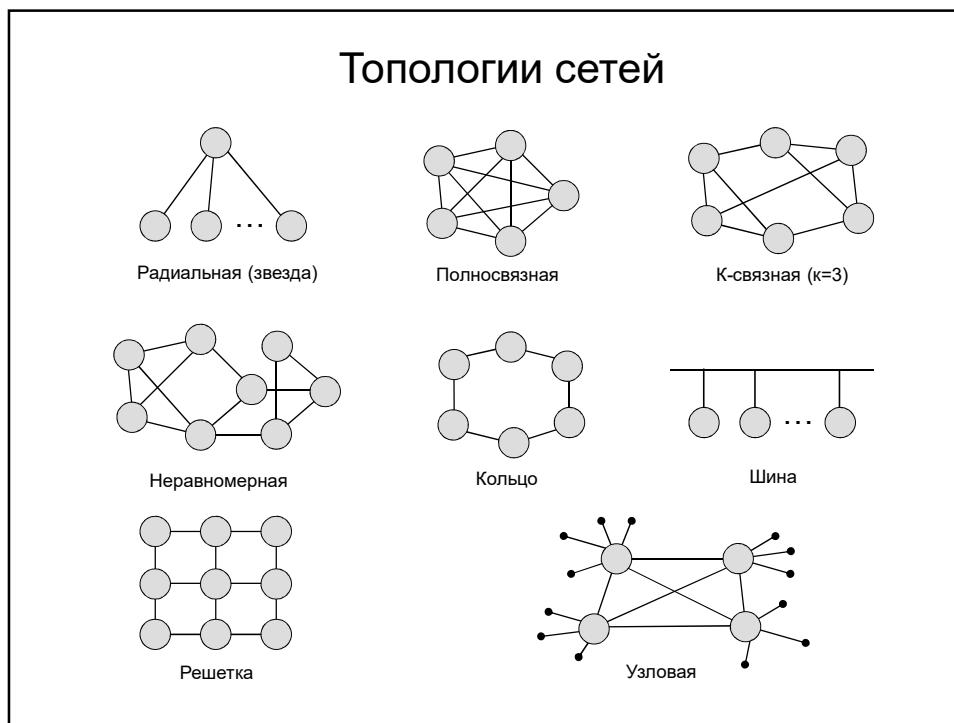
- Проводные
- Беспроводные

Тип абонентов:

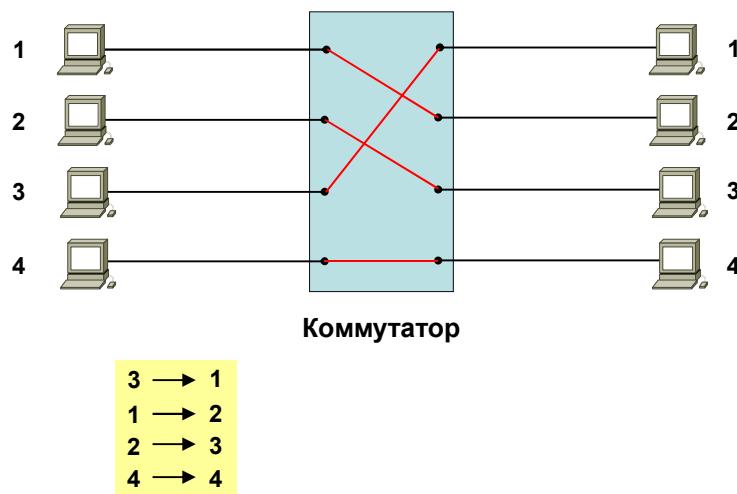
- Общего пользования (Public network)
- Корпоративные (Private network)

Способ коммутации:

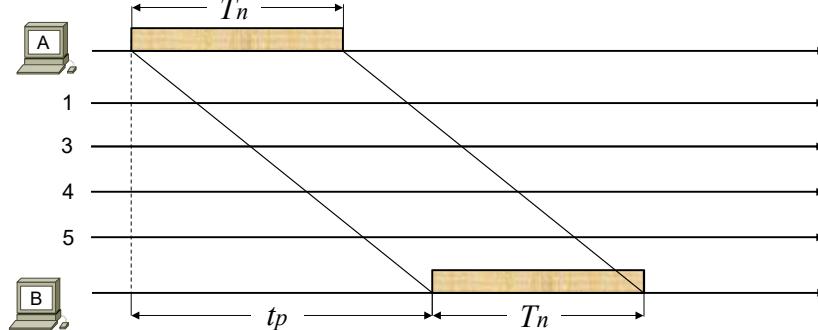
- Коммутация каналов
- Коммутация пакетов
- ...



Коммутация каналов (Circuit switching)



Задержка при передаче блока данных



- Расстояние между терминалами – D [м]
- Скорость передачи – B [бит/с]
- Размер передаваемого блока данных – L [бит]

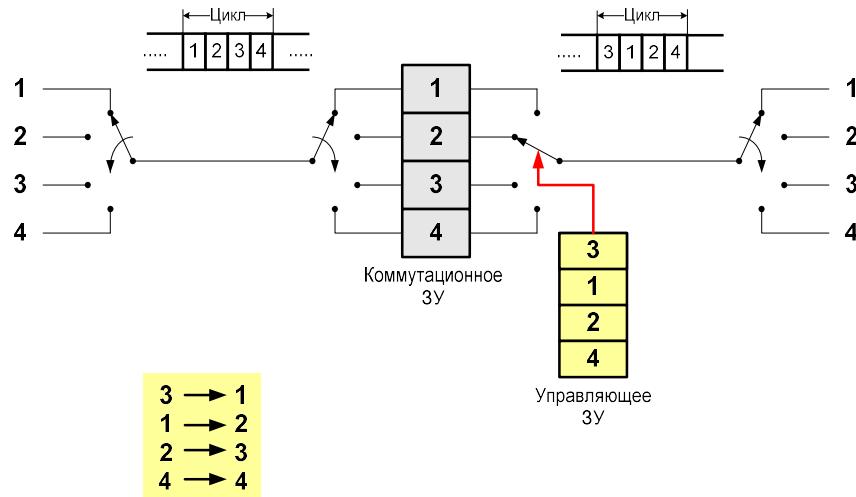
$$T_n = \frac{L}{B}; \quad t_p = \frac{D}{V}; \quad t_3 = t_p + T_n$$

где V – скорость распространения сигнала [м/с]

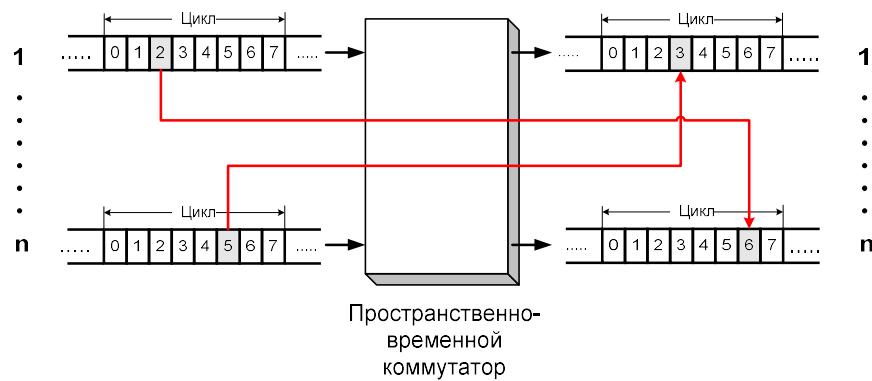
T_n – время передачи блока данных

t_p – время распространения сигнала

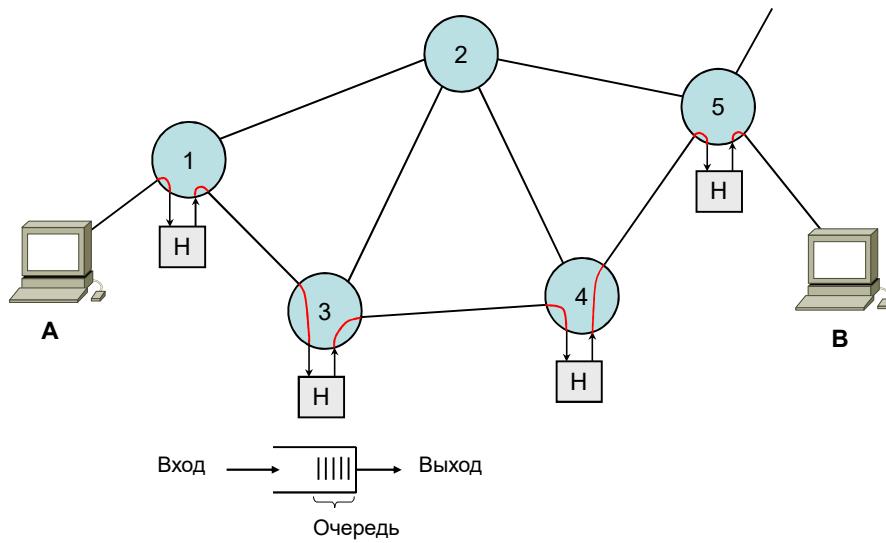
Временная коммутация



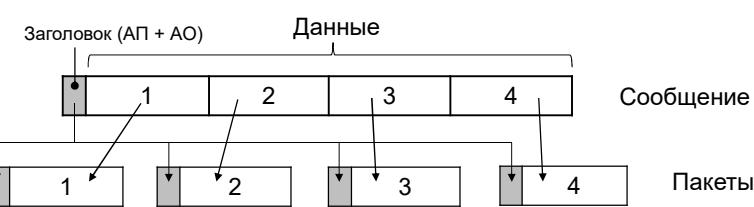
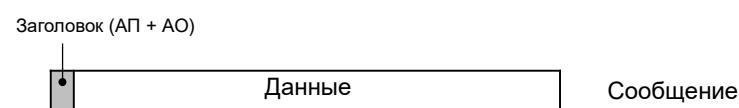
Пространственно-временная коммутация

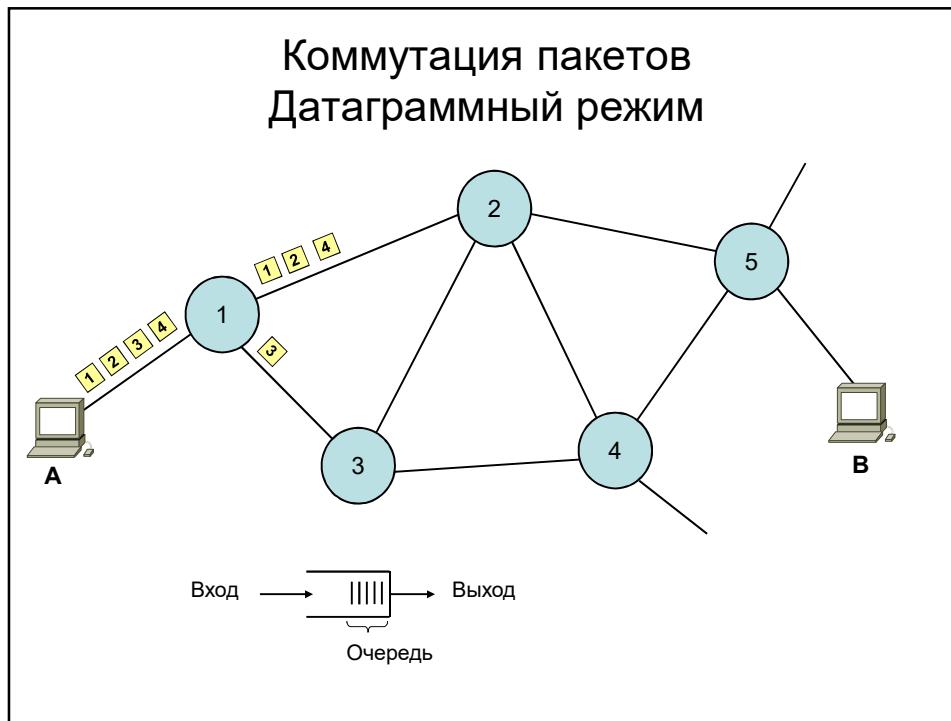
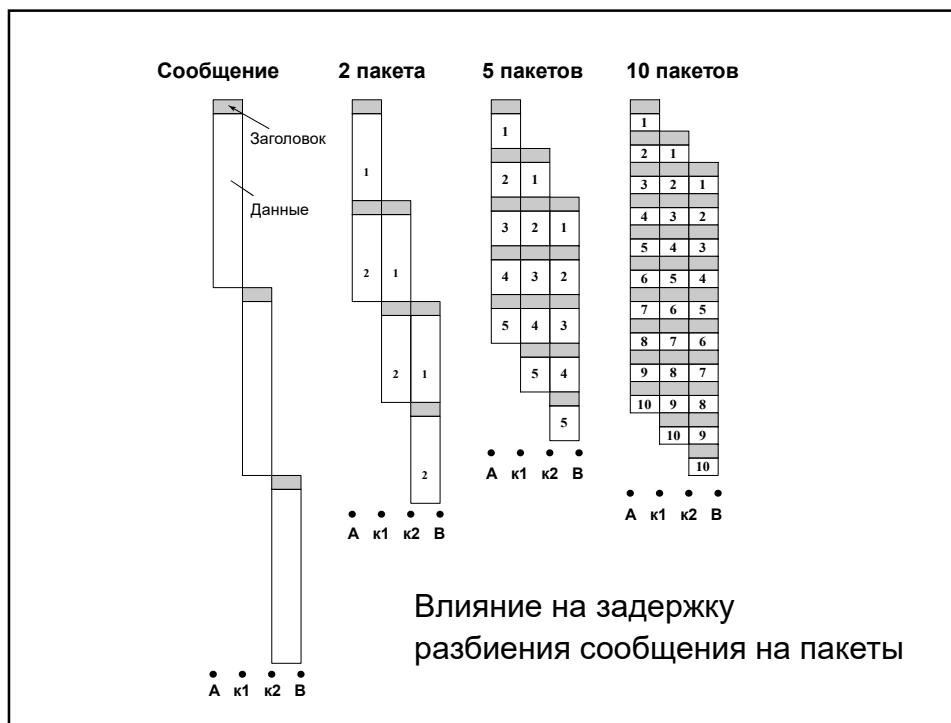


Коммутация сообщений/пакетов

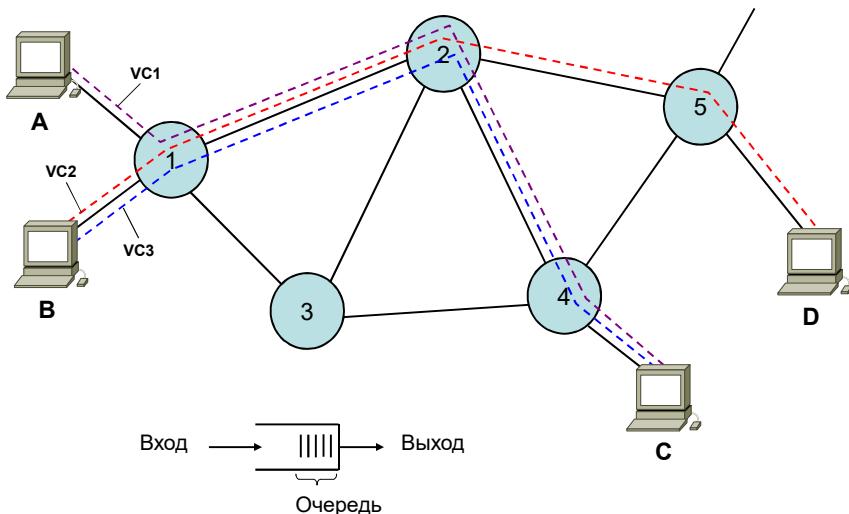


Сообщения и пакеты

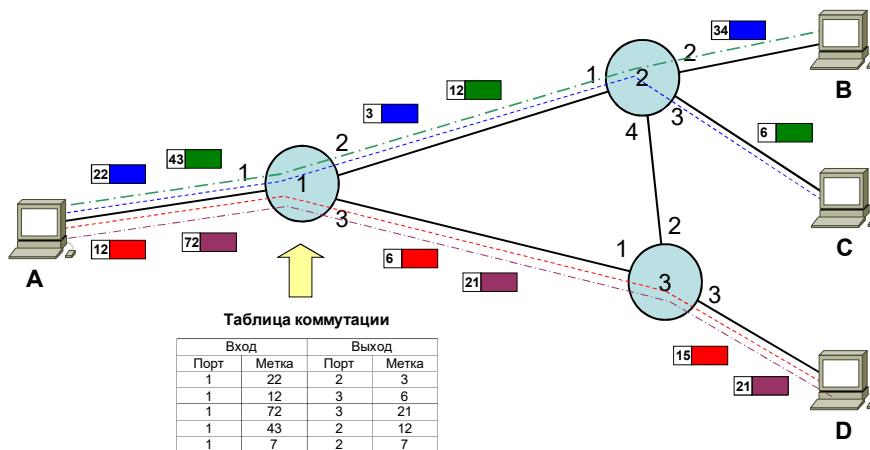




Коммутация пакетов. Виртуальные соединения



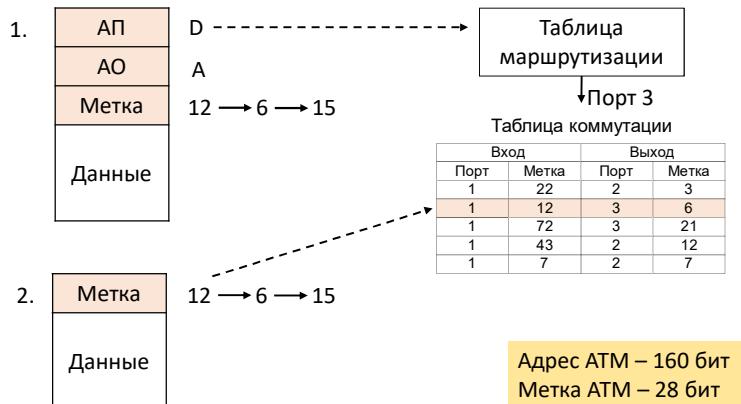
Виртуальные соединения. Использование меток



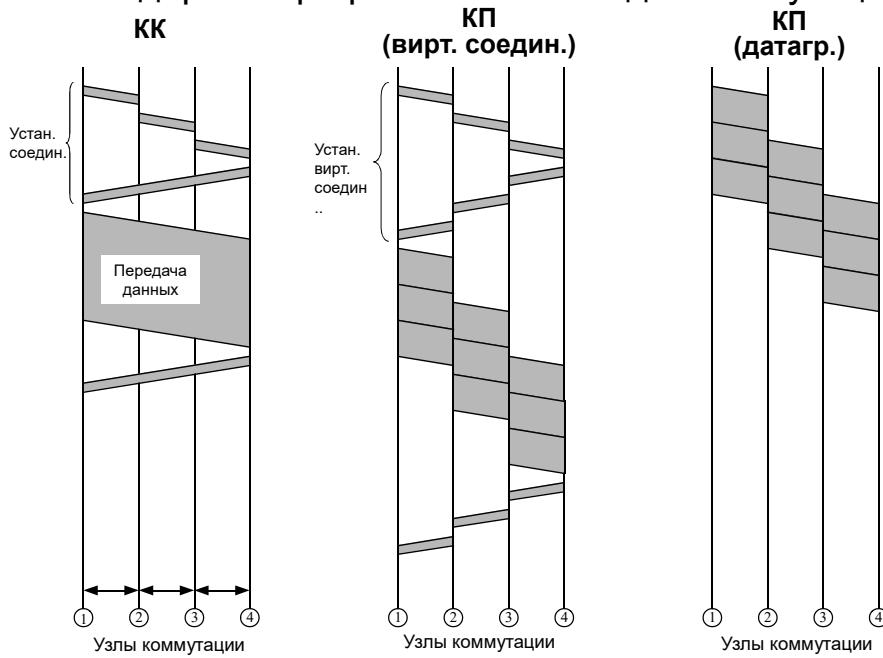
Виртуальные соединения

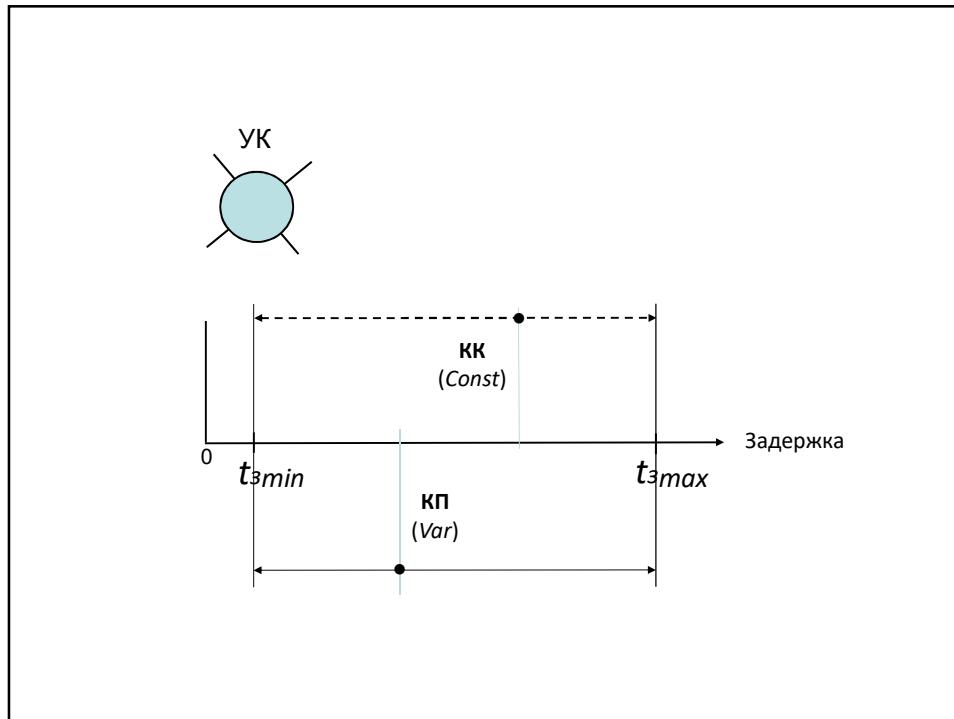
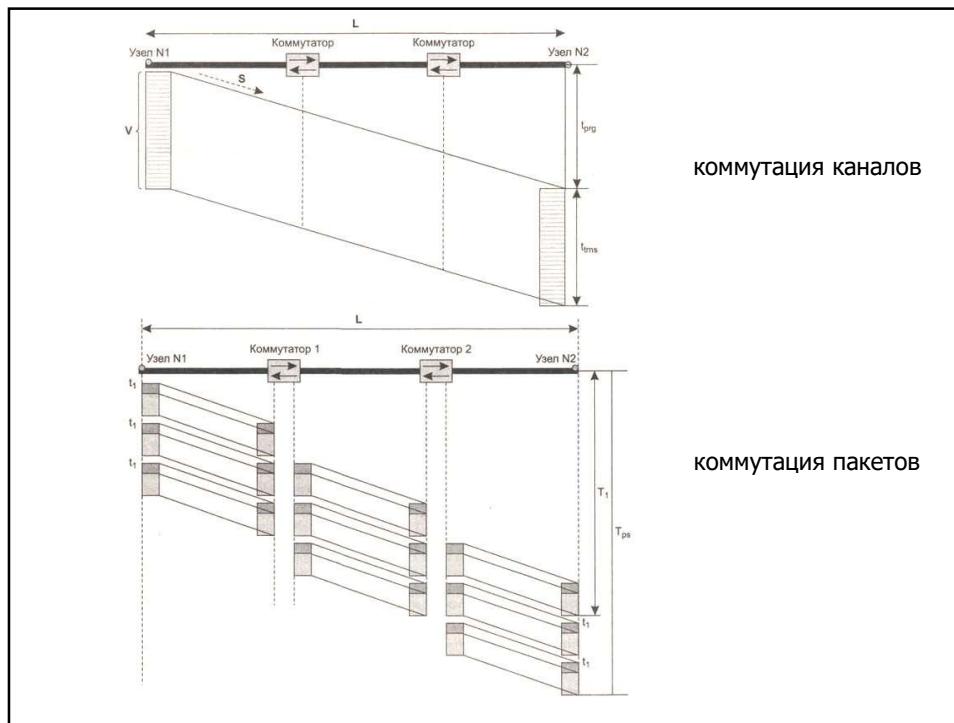
3 этапа:

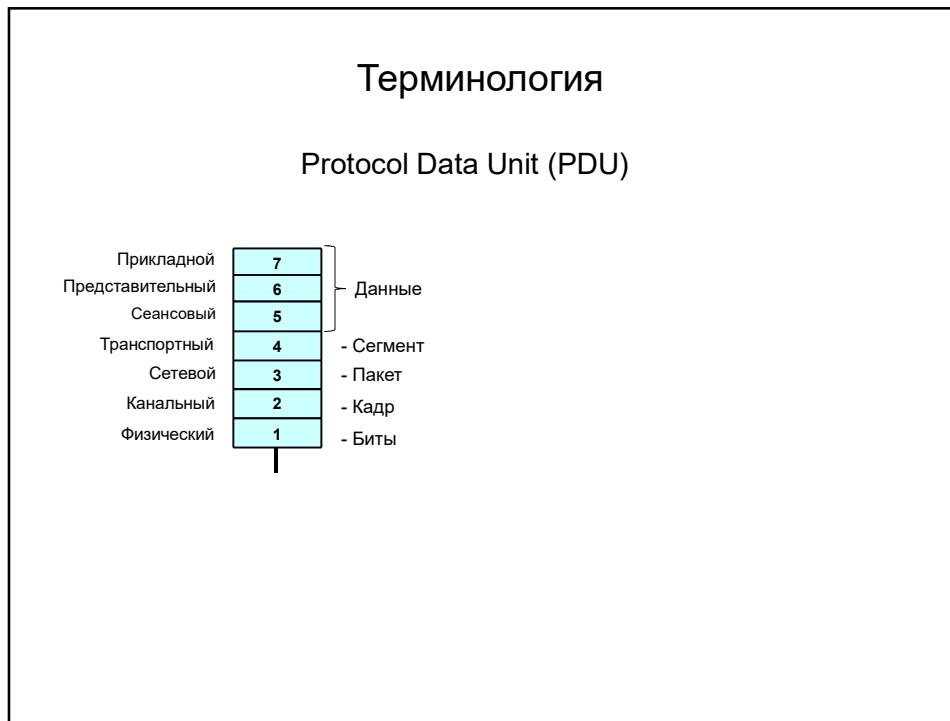
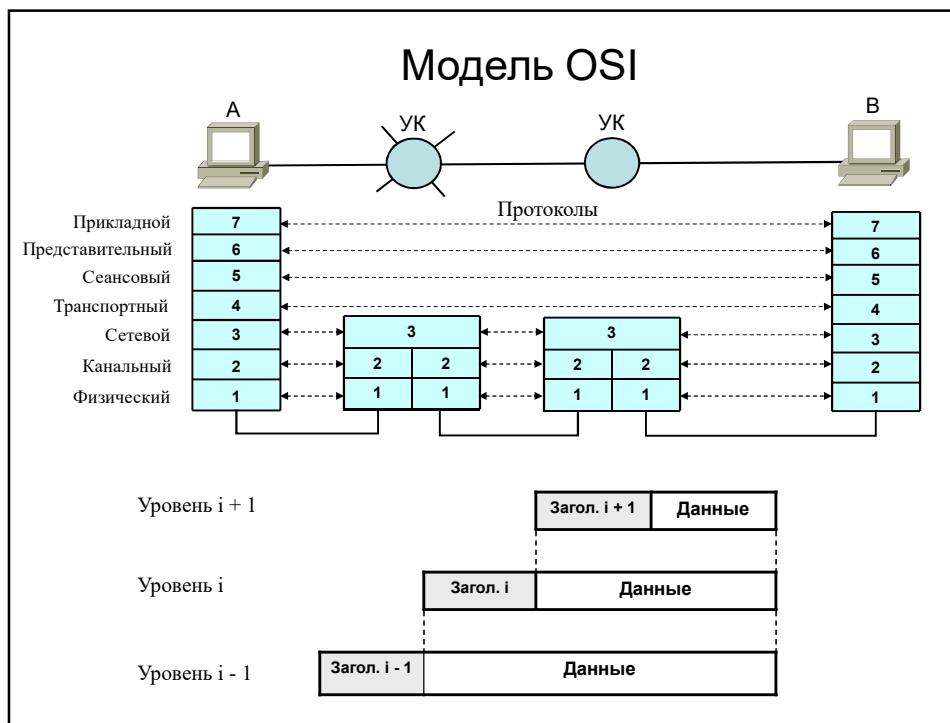
1. Установление виртуального соединения
2. Передача информации
3. Разрушение виртуального соединения

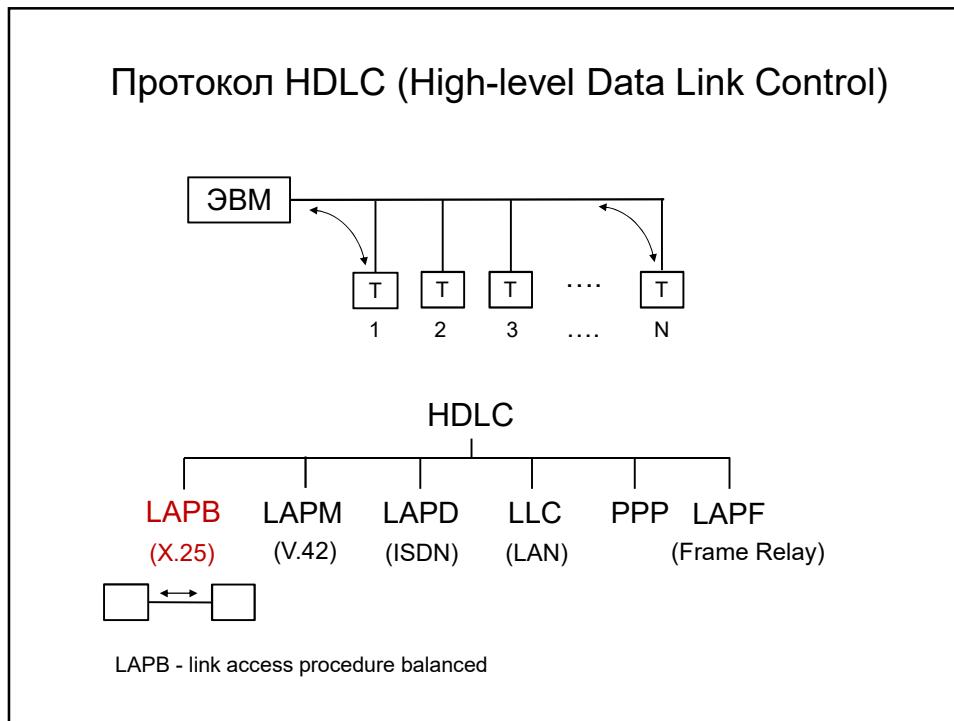
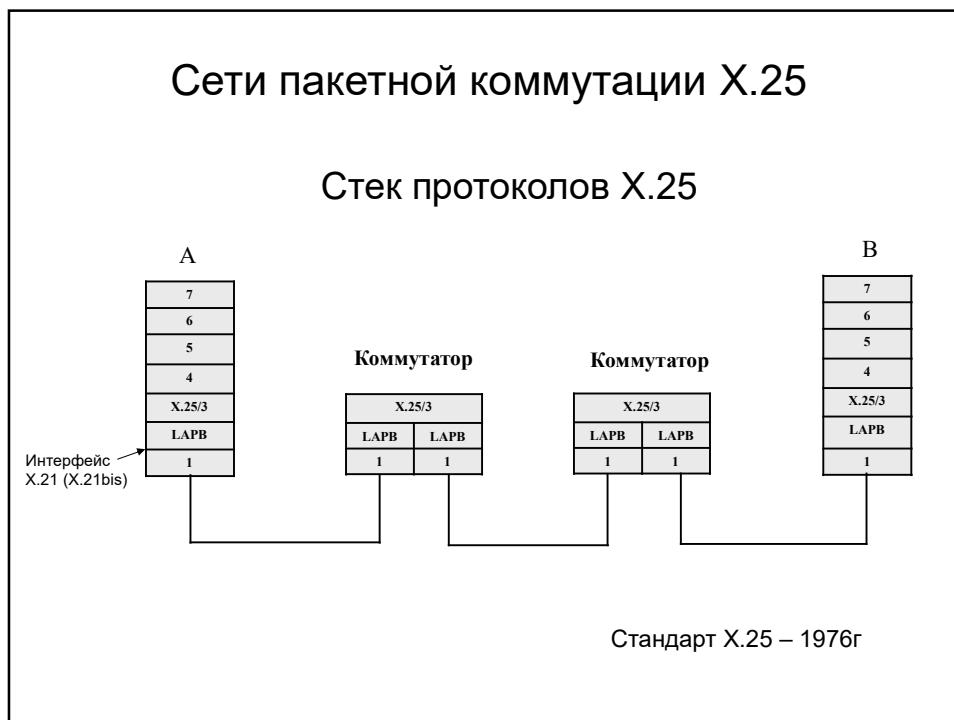


Задержка при различных методах коммутации



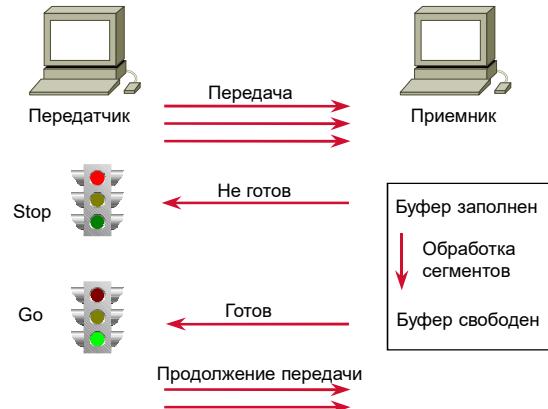




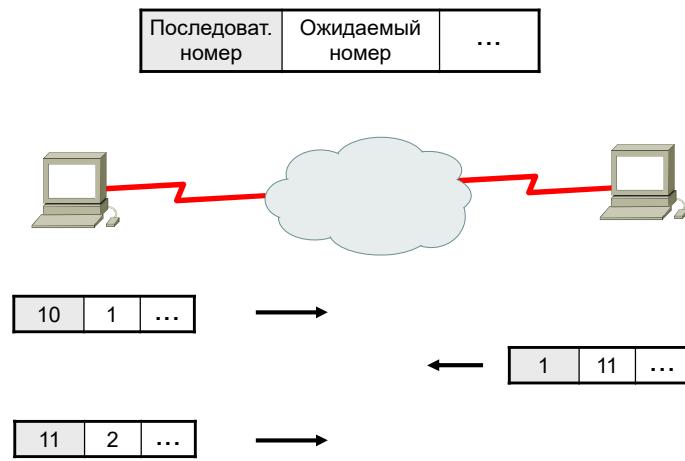


Передача данных

Управление передачей

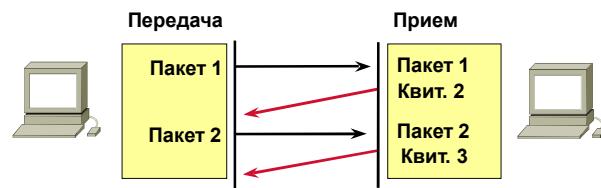


Последовательная нумерация

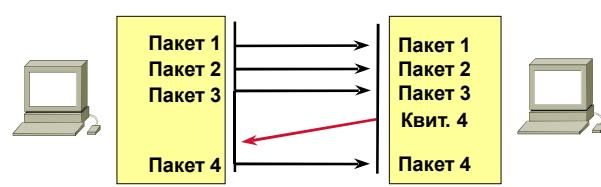


Механизм окна

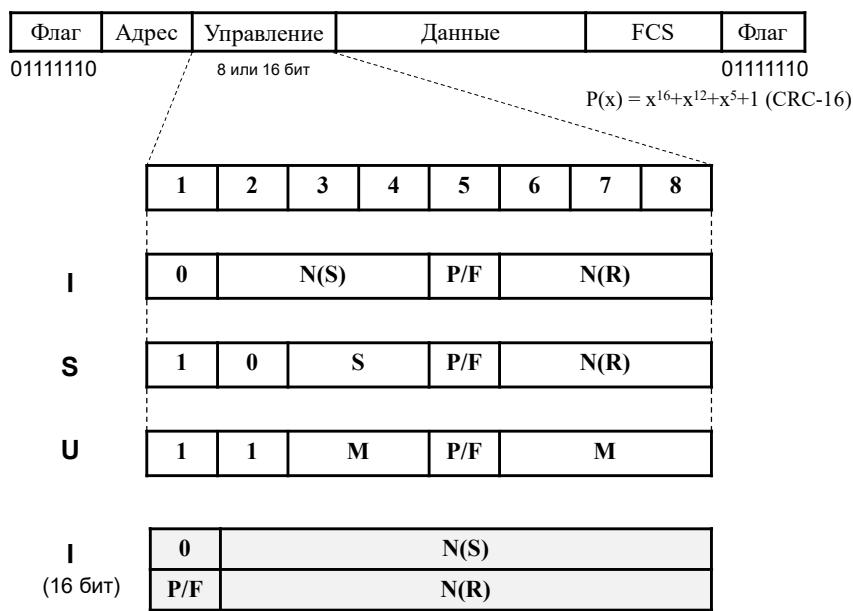
Размер окна = 1



Размер окна = 3



Формат кадра HDLC



N(S) - номер передаваемого кадра
N(R) - номер ожидаемого кадра

$N(S) = 0, 1, 2, 3, \dots, 7 (127), 0, 1, 2, \dots$

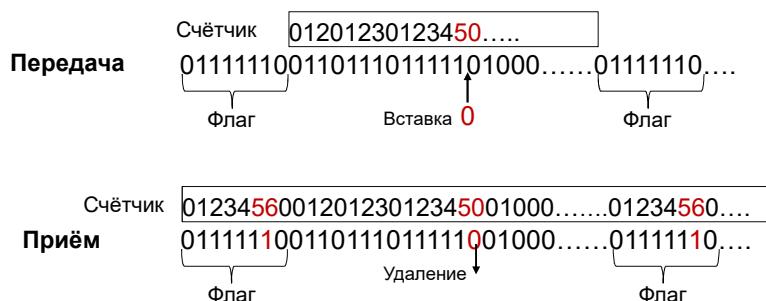
RR – Готов к приёму
RNR – Не готов к приёму
REJ – Отказ от кадров
SREJ – Селективный отказ

I, N(S), N(R)

REJ, N(R)

SREJ, N(R)

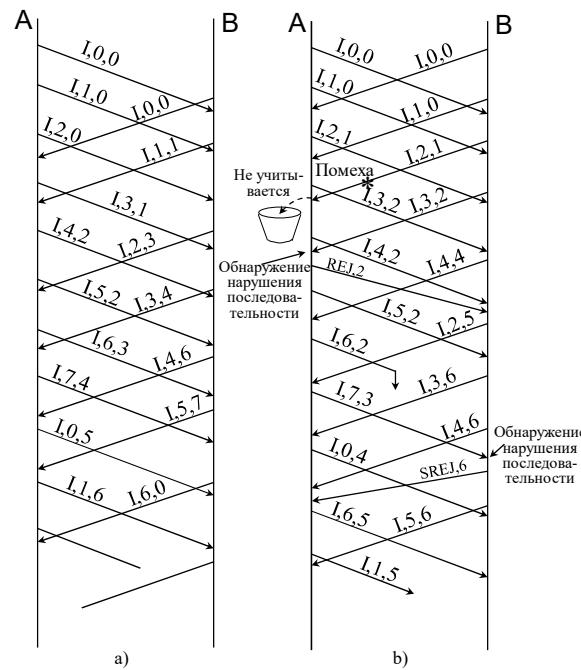
Бит-стаффинг



Протокол HDLC

Передача данных

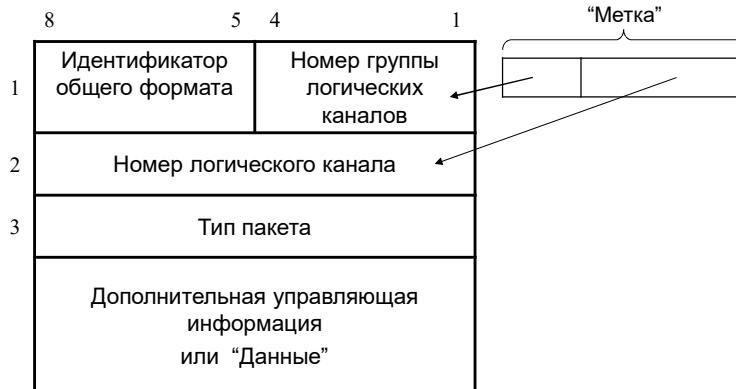
I, N(S), N(R)
REJ, N(R)
SREJ, N(R)



Типы пакетов

Тип пакета	DCE DTE	DTE DCE
Установление и разрушение соединений	Incoming Call	CALL REQ (Входящий вызов)
	Call Connected	CALL ACC (Вызов принят)
	Clear Indication	CLR REQ (Запрос разрушения соединения)
	Clear Confirmation	CLR CNF (Подтверждение разрушения соединения)
Данные и прерывание	Data	Data (Пакет данных)
	Interrupt	INT REQ (Запрос прерывания)
	Interrupt Confirmation	INT CNF (Подтверждение прерывания)
Управление потоком и сброс	Receiver Ready	RR (Приемник готов)
	Receiver Not Ready	RNR (Приемник не готов)
	REJ (Отказ)	
	Reset Indication	RES REQ (Запрос сброса)
Рестарт	Reset Confirmation	RES CNF (Подтверждение сброса)
	Restart Indication	RSTR REQ (Запрос рестарта)
	Restart Confirmation	RSTR CNF (Подтверждение рестарта)

Общий формат пакетов



Третий байт пакета “Данные”

P(R)	M	P(S)	0
------	---	------	---

Заголовок пакета “Данные”

Q	D	0	1	Group Number
Channel Number				
P(R)	M	P(S)	0	

Нумерация по модулю 8

Q	D	1	0	Group Number
Channel Number				
P(S)			0	
P(R) M				

Нумерация по модулю 128

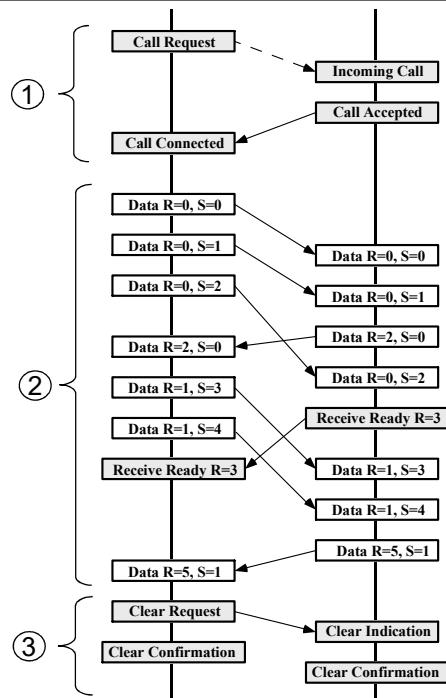
Формат пакета “Call Request”

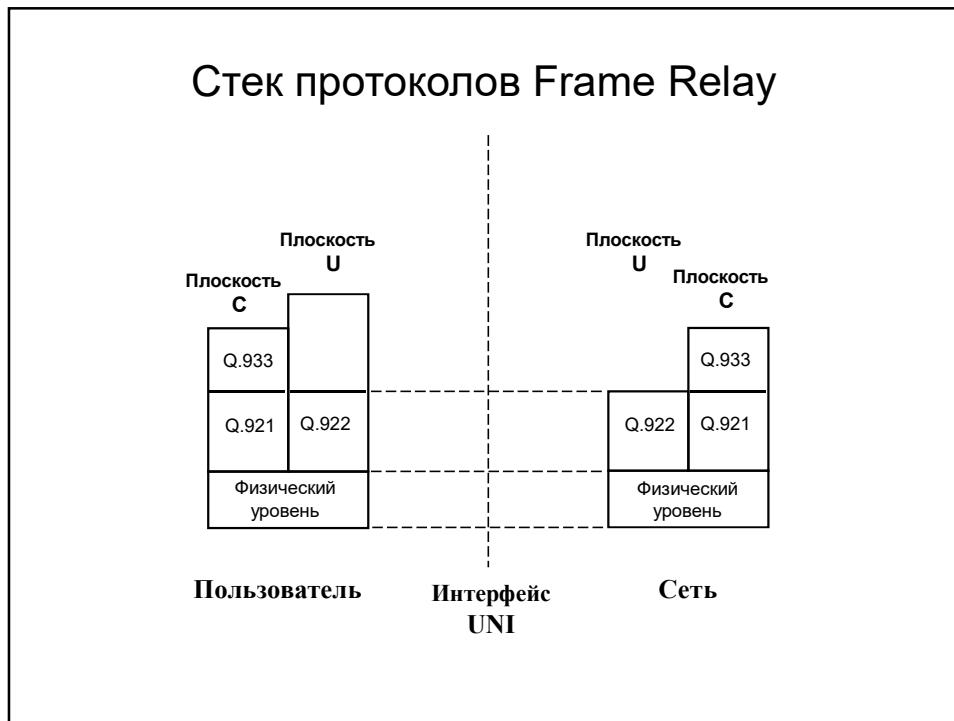
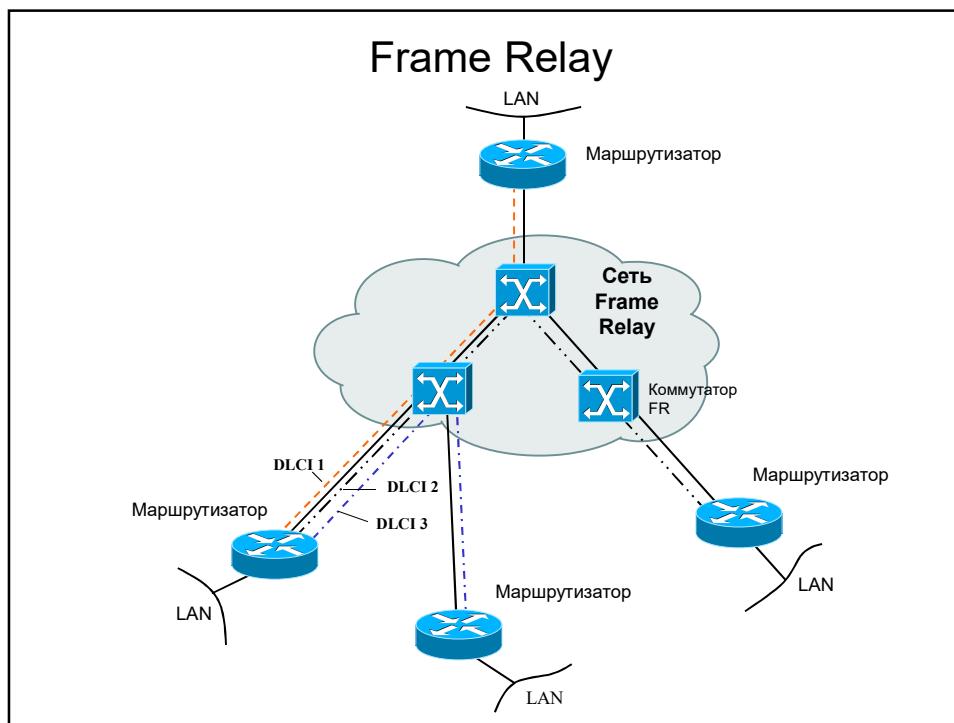
	8	5	4	1
1				Идентификатор общего формата
2				Номер группы логических каналов
3				Номер логического канала
				Тип пакета
	0	0	0	1 0 1 1
				Длина адреса вызывающего DTE
				Длина адреса вызываемого DTE
				Адреса вызывающего и вызываемого DTE
	0	0		Длина поля опций
				Опции
				Пользовательские Данные

Протокол X.25/3

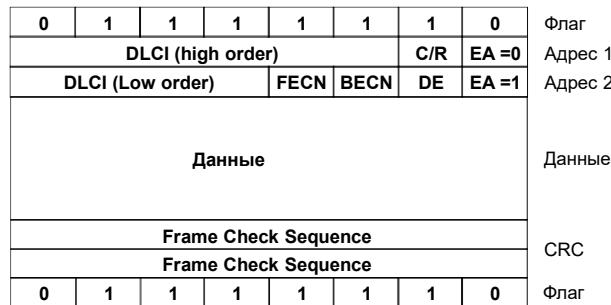
3 этапа:

1. Установление виртуального соединения
2. Передача данных
3. Разрушение виртуального соединения





Формат кадра Frame Relay



DLCI	Назначение
0	Управление вызовом (Сигнализация)
1 – 15	Резерв
16 – 1007	Идентификация PVC
1008 – 1018	Резерв
1019 – 1022	Групповые идентификаторы
1023	LMI

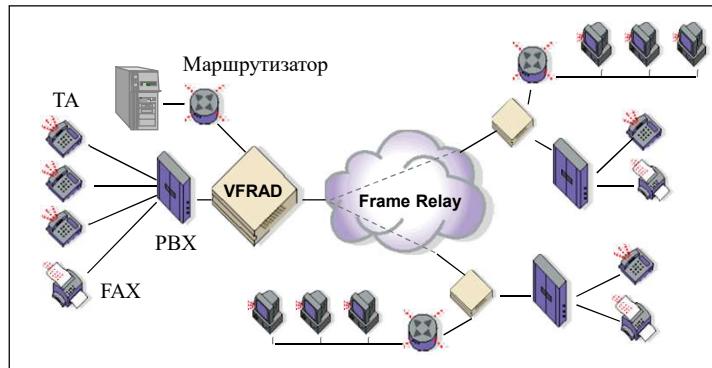
Основные термины

- User to Network Interface (UNI)
- Network to Network Interface (NNI)
- Virtual Circuit (VC)
- Permanent Virtual Circuit (PVC)
- Switched Virtual Circuit (SVC)
- Data Link Connection Identifier (DLCI)
- Committed Information Rate (CIR)
- Bc = Committed Burst
- Be = Excess Burst
- Tc Time interval
- FECN Forward Explicit Congestion Notification
- BECN Backward Explicit Congestion Notification
- DE Discard Eligible bit

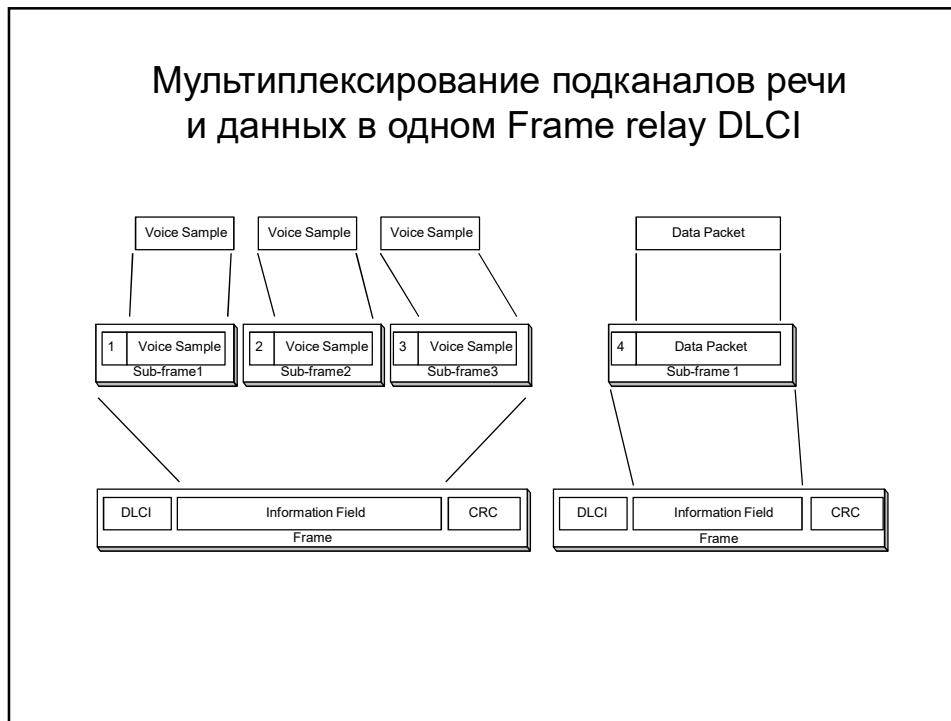
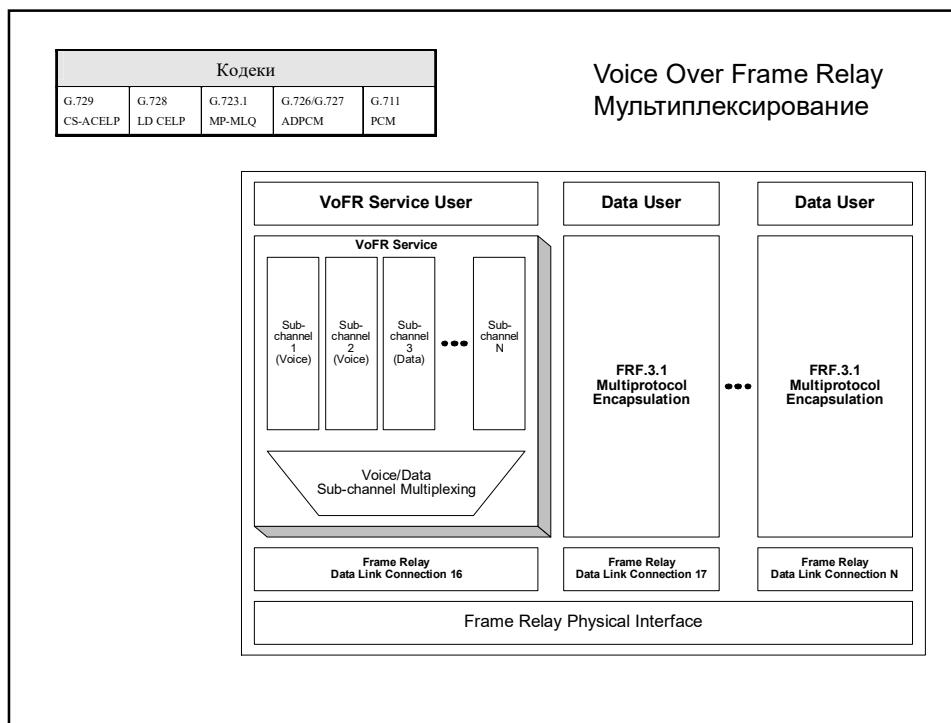
Алгоритм «Leaky bucket»



Передача речи и данных через Frame Relay



- Сжатие речи при передаче по FR
- Использование различных алгоритмов сжатия речи
- Эффективное использование Frame Relay в каналах с низкой скоростью
- Мультиплексирование подканалов речи и данных в одном DLCI
- Передача нескольких фрагментов речи в одном кадре



Эффективное использование Frame Relay в каналах с низкой скоростью

Биты														
8	7	6	5	4	3	2	1	Байты						
EI	LI	Идентификация подканала (CID)						1						
CID	0	Тип нагрузки						1a						
Длина нагрузки								1b						
Нагрузка														

Примечание:

- 1 Байт 1a используется когда бит EI установлен.
- 2 Байт 1b используется когда бит LI установлен.

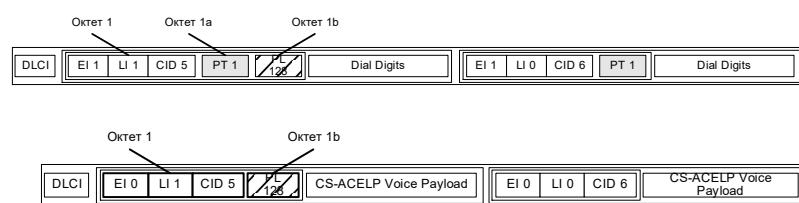
Кадр, содержащий один подкадр

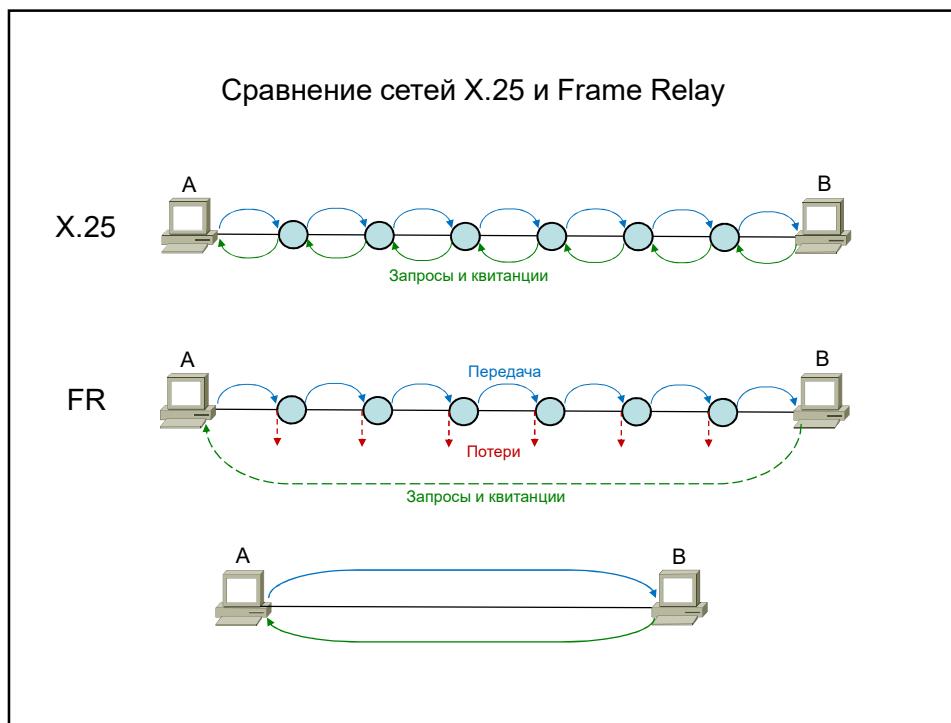


Кадр, содержащий один подкадр (канал с большим номером)

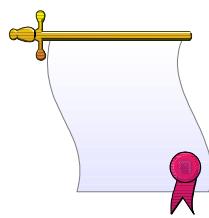


Кадры, содержащие несколько подкадров





Основные принципы ATM



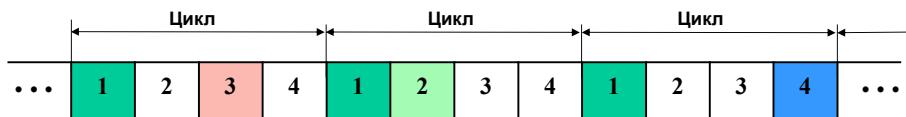
- Соединения с согласованным сервисом
 - Соединения из конца в конец (виртуальные соединения)
 - Трафик-контракт
- Основана на коммутации
 - Выделение ресурсов
- Основана на ячейках
 - Маленький размер (Фиксированная длина)



Синхронный и асинхронный режимы передачи

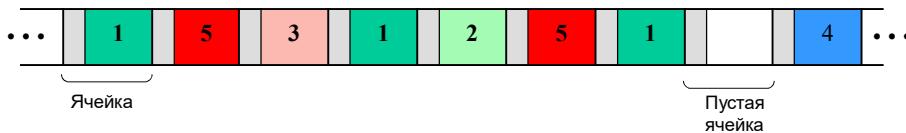
Синхронный (TDM)

Соединение идентифицируется позицией в цикле



Асинхронный (ATM)

Соединение идентифицируется меткой в заголовке ячейки



Ячейка ATM (Cell)



- Маленький размер
 - Заголовок 5 байт
 - 48 байт полезная нагрузка
- Фиксированный размер
- Заголовок содержит идентификатор вирт. соединения
- Нагрузкой может быть голос, видео или другие типы данных

Заголовок ячейки ATM

интерфейс “пользователь-сеть”

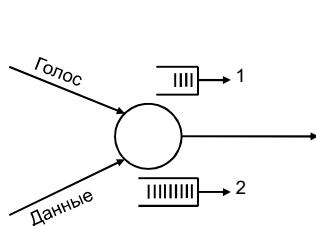
8	7	6	5	4	3	2	1	Октет
GFC		VPI			1			
VPI		VCI			2			
	VCI				3			
VCI		PTI	CLP		4			
		HEC			5			

интерфейс “сеть-сеть”

8	7	6	5	4	3	2	1	Октет
	VPI						1	
VPI		VCI					2	
	VCI						3	
VCI		PTI	CLP				4	
		HEC					5	

- GFC – общее управление потоком
- VPI – идентификатор виртуального пути
- VCI – идентификатор виртуального канала
- PTI – идентификатор, различающий ячейки, несущие информацию и пустые ячейки
- CLP – поле приоритета потери ячейки
- HEC – поле контроля ошибок заголовка

Время передачи и время распространения



- Размер передаваемого блока данных – L [бит]
- Скорость передачи – B [бит/с]
- Время передачи блока данных – T_n [с]

$$T_n = \frac{L}{B} = \frac{1500 * 8}{128 * 10^3} \approx 100 * 10^{-3} \text{ с} = 100 \text{ мс}$$

Задержка в одном направлении = 0 – 150 мс (ITU-T, Рекомендация G.114)

- Максимальное расстояние – D [м]
- Скорость распространения сигнала – V [м/с]
- Время распространения сигнала – t_p [с]

$$t_p = \frac{D}{V} \approx \frac{2 * 10^7}{2 * 10^8} = 10^{-1} \text{ с} = 100 \text{ мс}$$

Переход КП → КЯ → КП

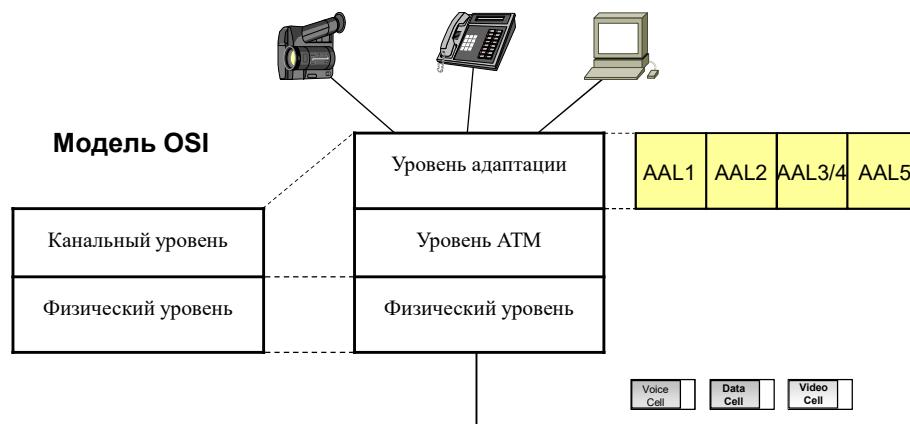
Задержка в одном направлении = 0 – 150 мс
(ITU-T, Рекомендация G.114)

- Размер передаваемого блока данных – L [бит]
- Скорость передачи – B [бит/с]
- Время передачи блока данных – T_{π} [с]

$$\downarrow T_{\pi} = \frac{L}{B} = \frac{\downarrow\downarrow}{-} = \frac{\downarrow}{\uparrow} = \frac{-}{\uparrow\uparrow} = \frac{\uparrow}{\uparrow\uparrow\uparrow}$$

PSTN ATM TCP/IP TCP/IP?

Архитектура ATM



Основное назначение уровня AAL – изолировать верхние уровни от специфических характеристик уровня ATM посредством отображения блоков данных протокола верхнего уровня в информационное поле ячеек ATM с целью возможности переноса по сети ATM, а затем собрать блоки данных из ячеек ATM для доставки верхним уровням

Уровень Адаптации ATM (AAL)

Классификация услуг AAL

<i>Параметры услуг</i>	<i>Класс A</i>	<i>Класс B</i>	<i>Класс C</i>	<i>Класс D</i>
<i>Восстановление синхронизации</i>	ТРЕБУЕТСЯ		НЕ ТРЕБУЕТСЯ	
<i>Скорость</i>	ПОСТОЯННАЯ		ПЕРЕМЕННАЯ	
<i>Режим соединения</i>	С УСТАНОВЛЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЯ		БЕЗ СОЕДИНЕНИЯ	
<i>Тип AAL</i>	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4 или AAL 5	AAL 3/4 или AAL 5
<i>Примеры</i>	Эмуляция каналов DS1, E1, n×64 кбит/с	Передача аудио и видео со сжатием	Ретрансляция кадров, X.25	IP, SMDS

Управление трафиком в сетях ATM

Шесть категорий служб:

Службы реального времени:

- CBR – Constant Bit Rate
- rt-VBR – Real-Time Variable Bit Rate

Службы не реального времени:

- nrt-VBR – Non-Real Time Variable Bit Rate
- ABR – Available Bit Rate
- UBR – Unspecified Bit Rate
- GFR – Guaranteed Frame Rate

Категории служб определяются для каждого соединения виртуального пути (VPC) или соединения виртуального канала (VCC).

Основные атрибуты, характеризующие службы:

- Параметры трафика источника
- Параметры качества обслуживания

➤ **Описатель трафика источника:**

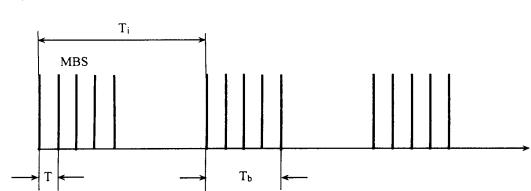
- Пиковая скорость PCR (Peak Cell Rate) измеряется количеством ячеек, генерируемых источником, за единицу времени;
- Поддерживаемая скорость SCR (Sustainable Cell Rate) является скоростью передачи пачки максимального размера, генерируемой источником трафика за время равное интервалу между пачками (T_i), $SCR = MBS / T_i$;
- Максимальный размер пачки MBS, измеряемый в ячейках.
- Минимальная скорость MCR (Minimum Cell Rate), которая должна поддерживаться сетью
- Максимальный размер кадра MFS (Maximum Frame Size) для служб GFR

➤ **Описатель трафика соединения:**

- Допуск на разброс задержек (вариация) передачи ячеек CDVT (Cell Delay Variation Tolerance) в секундах
- Согласованное определение

➤ **Параметры качества обслуживания:**

- Вероятность (коэффициент) потери ячеек CLR (Cell Loss Ratio)
- Максимальная задержка передачи ячеек maxCTD (Cell Transfer Delay);
- Допустимый разброс значений (вариация) времени задержки CDV (Cell Delay Variation) в секундах;



$PCR = l / T$ яч/с, где T - интервал между смежными ячейками

$SCR = MBS / T_i$ где T_i - минимальный интервал между пачками

Поддерживаемая скорость (SCR): скорость передачи пачки максимального размера MBS, которую генерирует источник за время интервала T_j между пачками

Трафик-контракт

■ Трафик-контракт включает:

- Категория службы
- Требования к QoS
- Описание трафика
- Определение допустимых отклонений

Основные параметры QoS, согласуемые при установлении соединения:

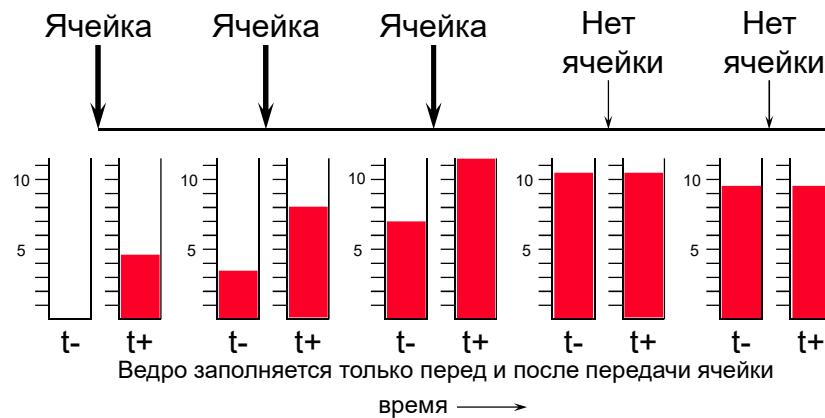
- задержка при передаче ячеек (Cell Transfer Delay – CTD)
- вариация времени задержки (Cell Delay Variation – CDV)
- коэффициент потерянных ячеек (Cell Loss Ratio – CLR)

Generic Cell Rate Algorithm – GCRA (Обобщенный алгоритм контроля скорости ячеек)

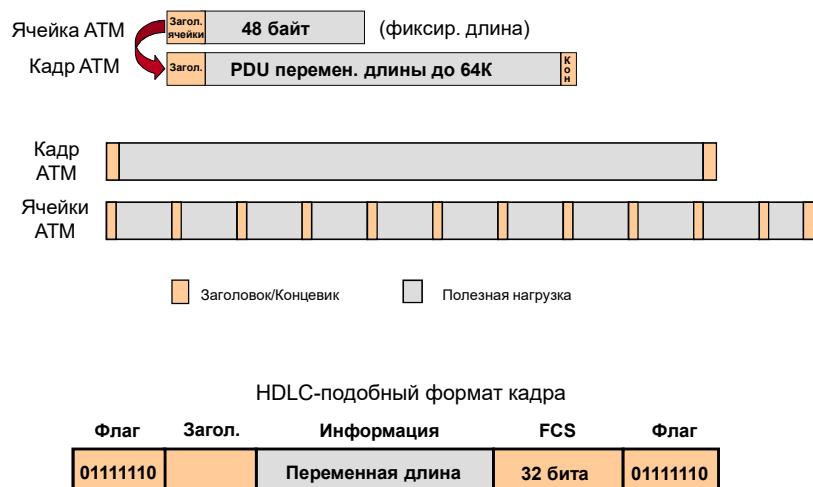


Пульсирующий трафик

GCRA(4,5; 7)



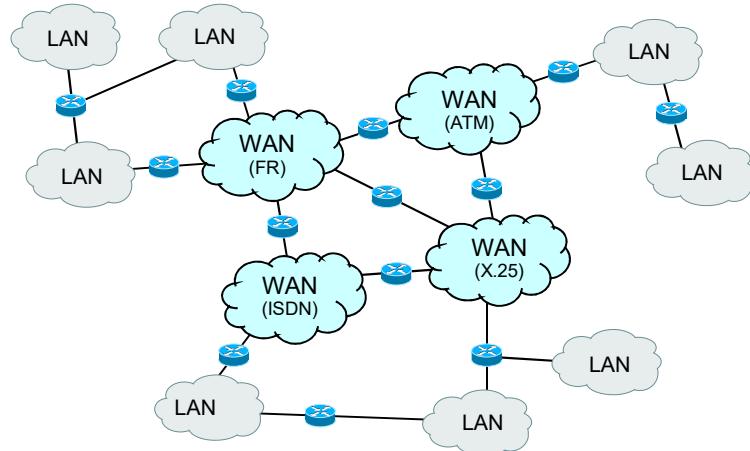
Кадры ATM



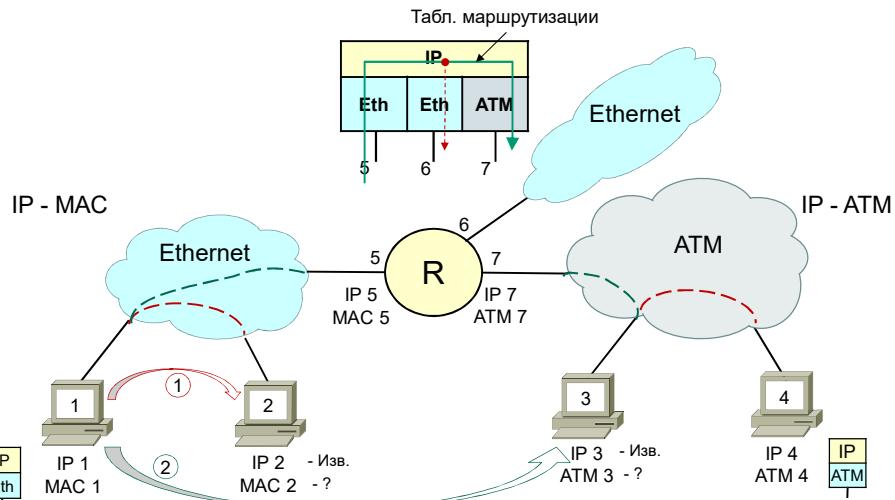
Развитие Internet



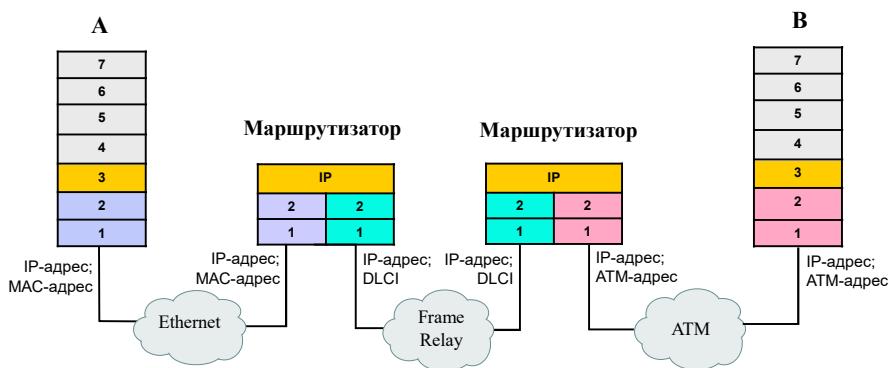
Объединение отдельных сетей в общую составную сеть

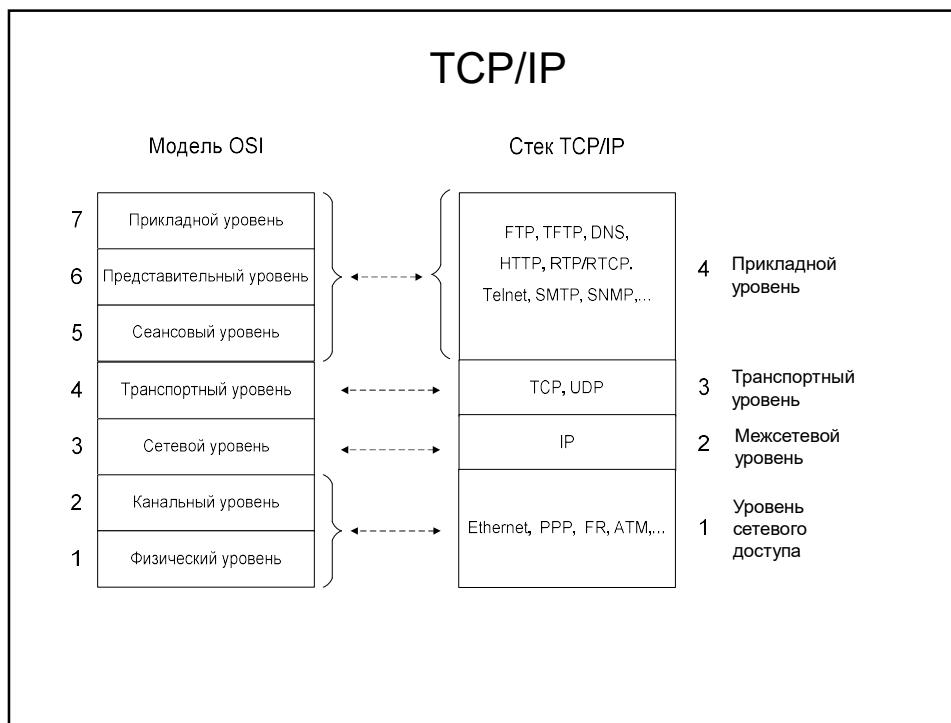


Взаимодействие между терминалами



TCP/IP





Преимущества и недостатки технологии IP

Преимущества

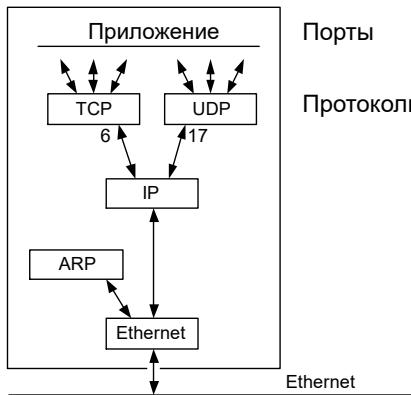
- Тесная связь с локальными сетями
- Использование на уровне доступа различных сетевых технологий
- Эволюционное развитие
- Быстрая адаптация к новым требованиям
- Широкое распространение
- Низкая стоимость услуг

Недостатки

- Накладные расходы
- Безопасность
- Качество обслуживания

Переход от протокола IPv4 к протоколу IPv6

Структура стека протоколов TCP/IP



Порты

Протоколы

Протоколы:

6 – TCP, 17 - UDP

Порты:

- 0 ÷ 1023 - общезвестные
- 1024 ÷ 49151 - зарегистрированные
- 49152 ÷ 65535 – частные и/или динамические

Примеры портов:

FTP: 20, 21
Telnet: 23, SMTP: 25
DNS: 53, TFTP: 59
SNMP: 161

IP-пакет. Структура заголовка

0	4	8	16	20	31
Версия	Длина заголовка	Тип обслуживания	Общая длина		
			Идентификатор	Флаги	Смещение фрагмента
Время жизни	Протокол	Контрольная сумма заголовка			
IP-адрес отправителя					
IP-адрес получателя					
Опции			Заполнитель		

Байт
ToS

Precedence	Type of Service	0
------------	-----------------	---

Precedence

111 Управление сетью
.....
001 Приоритетный

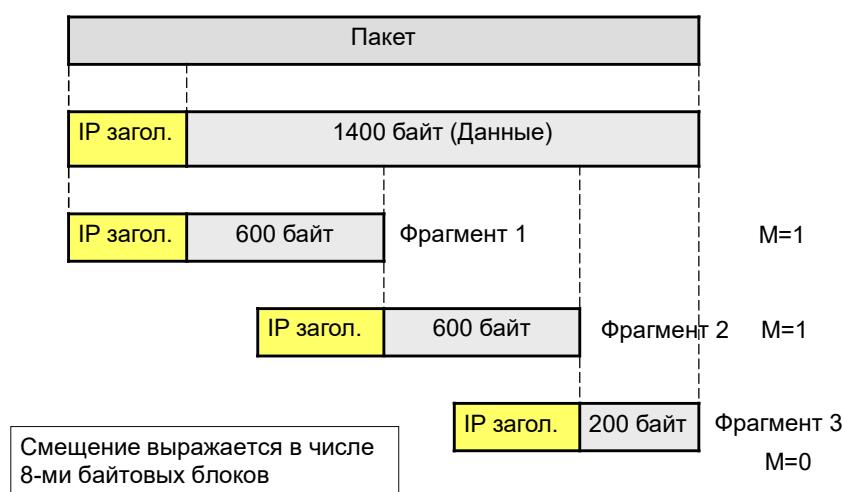
Type of Service

1000 Минимальная задержка
0100 Макс. пропускная способность
0010 Макс. надежность
0001 Минимальная стоимость
0000 Обычный

Коды протоколов

Код	Протокол	Описание
1	ICMP	Протокол управляющих сообщений
2	IGMP	Протокол управления группой
4	IP	IP поверх IP (инкапсуляция)
6	TCP	TCP
17	UDP	UDP
46	RSVP	Протокол резервирования ресурсов
89	OSPF	Протокол внутренней маршрутизации

Фрагментация пакетов



IP адресация

- 32 бита

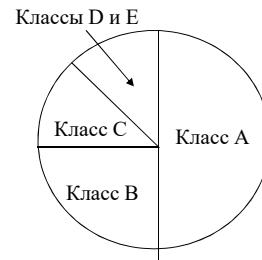
100001001010001110000000000010001

- Разделение на 4 октета

10000100 10100011 10000000 00010001

- Преобразование каждого байта в десятичное число

132.163.128.17



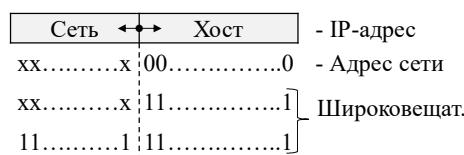
Классы IP-адресов

Класс	Первые биты	Применение
A	0	Индивидуальные адреса (Unicast)
B	10	
C	110	
D	1110	Групповые (Multicast)
E	11110	Резерв

Структура адресов сетей классов А, В, С

Класс А	0	7 бит	8 бит	8 бит	8 бит
		Сеть		Хост	
Класс В	1	0	6 бит	8 бит	8 бит
			Сеть		Хост
Класс С	1	1	0	5 бит	8 бит
				Сеть	Хост

Зарезервированные адреса



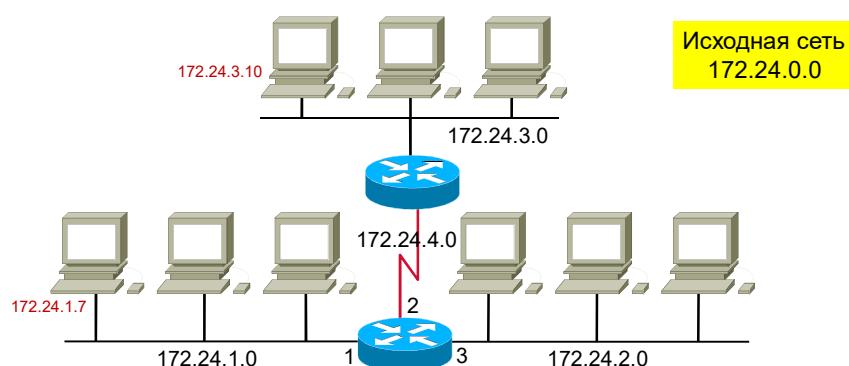
IP адреса, возможные в Internet

Класс сети	Диапазон знач. первого байта	Число сетей	Число хостов в сети
Класс А	0 -127	128 (0 и 127 резервиров.)	16777214
Класс В	128 -191	16384	65534
Класс С	192 -223	2097152	254

Адреса, зарезервированные для использования в частных сетях

Класс	Диапазон адресов (RFC 1918)
A	10.0.0.0 – 10.255.255.255
B	172.16.0.0 – 172.31.255.255
C	192.168.0.0 – 192.168.255.255.

Подсети



Сеть	Интерфейс
172.24.1.0	1
172.24.2.0	3
172.24.3.0	2
172.24.4.0	2

Таблица маршрутизации

Подсети. Маска подсети

Адреса класса В

IP адрес 172.24.100.45

Форма записи				Подсеть	
Десятична	172	24	100	45	
Двоична	10101100	00011000	01100100	00101101	

Форма записи

Маска подсети 255.255.255.0

Двоичная	11111111	11111111	11111111	00000000
Десятична	255	255	255	0

255.255.255.0 \longleftrightarrow /24

IP адрес 172.24.100.45/ 24

Адрес сети 172.24.100.0/ 24

Разбиение сети на подсети

Исходная сеть класса С 207.21.24.0 /24

Разбиение сети на 8 подсетей

Исходная сеть	Подсеть			
	Сеть	/	Хост	Адрес подсети
Подсети	207.21.24.	000	00000	207.21.24.0 /24
	207.21.24.	000	00000	207.21.24.0 /27
	207.21.24.	001	00000	207.21.24.32 /27
	207.21.24.	010	00000	207.21.24.64 /27
	207.21.24.	011	00000	207.21.24.96 /27
	207.21.24.	100	00000	207.21.24.128 /27
	207.21.24.	101	00000	207.21.24.160 /27
	207.21.24.	110	00000	207.21.24.192 /27
	207.21.24.	111	00000	207.21.24.224 /27

Маски постоянной длины

Исходная сеть класса С **207.21.24.0 /24**

№ подсети	Адрес подсети
Подсеть 0	207.21.24.0 /27
Подсеть 1	207.21.24.32 /27
Подсеть 2	207.21.24.64 /27
Подсеть 3	207.21.24.96 /27
Подсеть 4	207.21.24.128 /27
Подсеть 5	207.21.24.160 /27
Подсеть 6	207.21.24.192 /27
Подсеть 7	207.21.24.224 /27



Маски переменной длины - VLSM

Подсеть 0	207.21.24.0 /27
Подсеть 1	207.21.24.32 /27
Подсеть 2	207.21.24.64 /27
Подсеть 3	207.21.24.96 /27
Подсеть 4	207.21.24.128 /27
Подсеть 5	207.21.24.160 /27
Подсеть 6	207.21.24.192 /27
Подсеть 7	207.21.24.224 /27

Подсеть 0	207.21.24.192 /30
Подсеть 1	207.21.24.196 /30
Подсеть 2	207.21.24.200 /30
Подсеть 3	207.21.24.204 /30
Подсеть 4	207.21.24.208 /30
Подсеть 5	207.21.24.212 /30
Подсеть 6	207.21.24.216 /30
Подсеть 7	207.21.24.220 /30

Бесклассовая маршрутизация (Classless interdomain routing - CIDR)

Агрегирование адресов

Сеть	Байт 1	Байт 2	Байт 3	Байт 4
172.24.0.0/16	10101100	00011000	00000000	00000000
172.25.0.0/16	10101100	00011001	00000000	00000000
172.26.0.0/16	10101100	00011010	00000000	00000000
172.27.0.0/16	10101100	00011011	00000000	00000000
172.28.0.0/16	10101100	00011100	00000000	00000000
172.29.0.0/16	10101100	00011101	00000000	00000000
172.30.0.0/16	10101100	00011110	00000000	00000000
172.31.0.0/16	10101100	00011111	00000000	00000000

Сеть	Байт 1	Байт 2	Байт 3	Байт 4
172.24.0.0/16	10101100	00011	000	00000000
172.25.0.0/16	10101100	00011	001	00000000
172.26.0.0/16	10101100	00011	010	00000000
172.27.0.0/16	10101100	00011	011	00000000
172.28.0.0/16	10101100	00011	100	00000000
172.29.0.0/16	10101100	00011	101	00000000
172.30.0.0/16	10101100	00011	110	00000000
172.31.0.0/16	10101100	00011	111	00000000

Supernetting

Маршрут
к 8-ми сетям:
172.24.0.0/13

Одна большая сеть

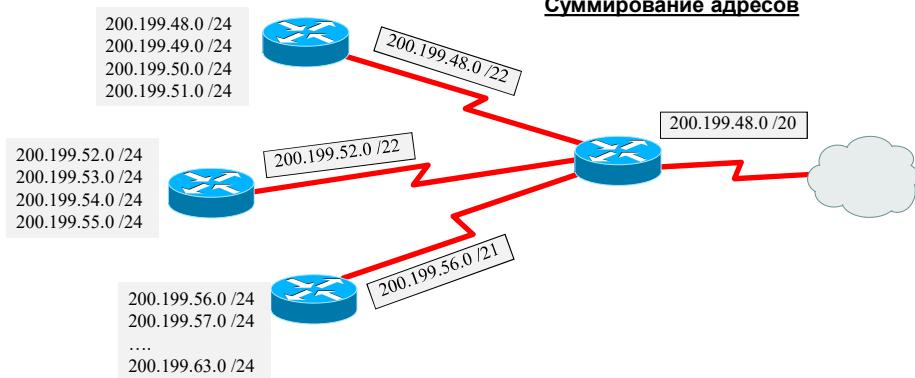
Маска:
255.248.0.0

Использование VLSM

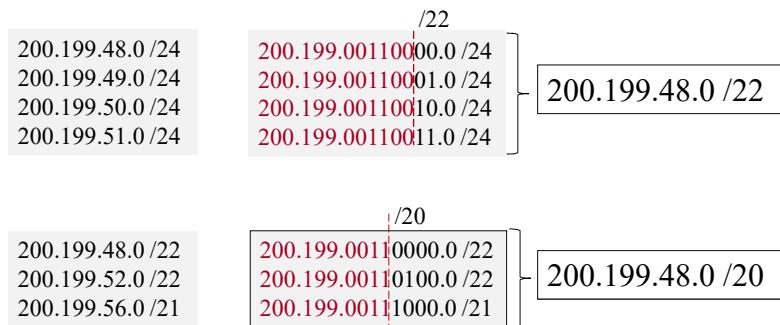
Адресация на соединениях “точка-точка”



Суммирование адресов



Суммирование адресов



Заголовки UDP и TCP

UDP - заголовок

0	16	31
Порт отправителя (16 бит)		Порт получателя (16 бит)
Длина датаграммы (16 бит)		Контрольная сумма (16 бит)
		Данные

Заголовок сегмента TCP (Transmission Control Protocol, RFC 793)

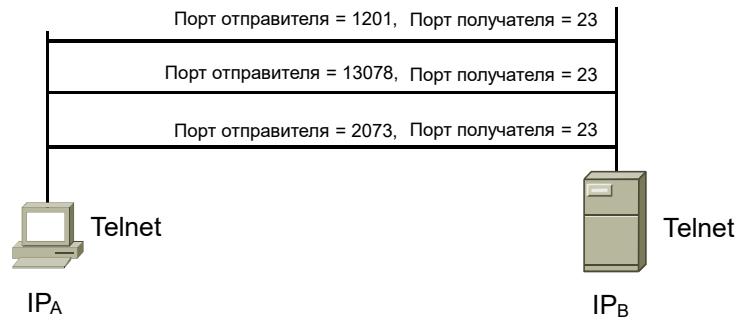
0	4	10	16	31
Порт отправителя (16 бит)			Порт получателя (16 бит)	
			Последовательный номер (32 бита)	
			Ожидаемый номер (32 бита)	
Смещение данных (4 бита)	Резерв (6 бит)	U A P R S F R C S S Y I G K H T N N		Размер окна (16 бит)
			Контрольная сумма (16 бит)	Указатель срочности данных (16 бит)
				Опции и заполнитель

Последовательный номер – номер первого байта в сегменте

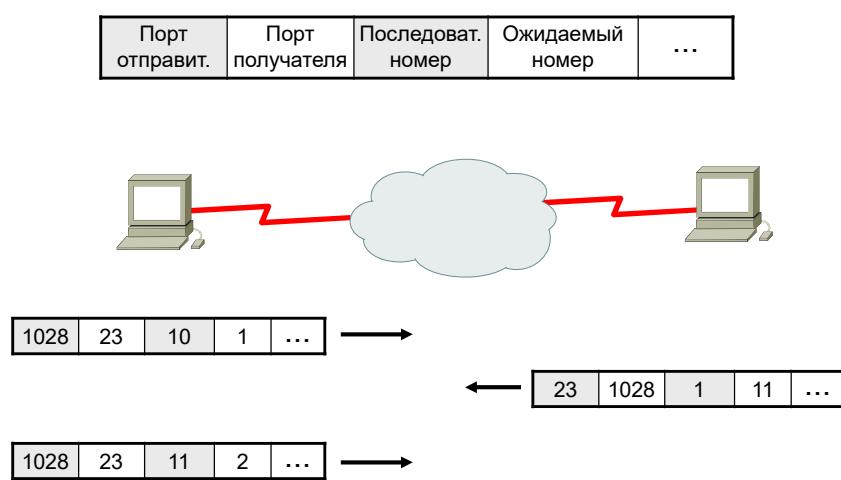
Ожидаемый номер – номер следующего ожидаемого байта

Указатель срочности указывает последний байт срочных данных, на которые надо немедленно реагировать.
URG - флаг срочности, включает поле "Указатель срочности".

Мультиплексирование соединений

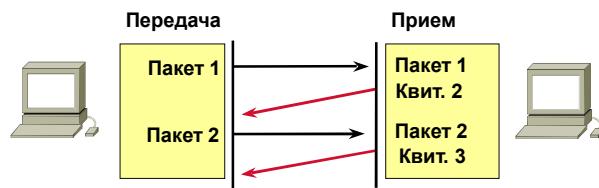


Последовательная нумерация

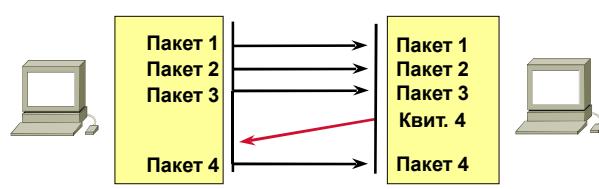


Механизм окна

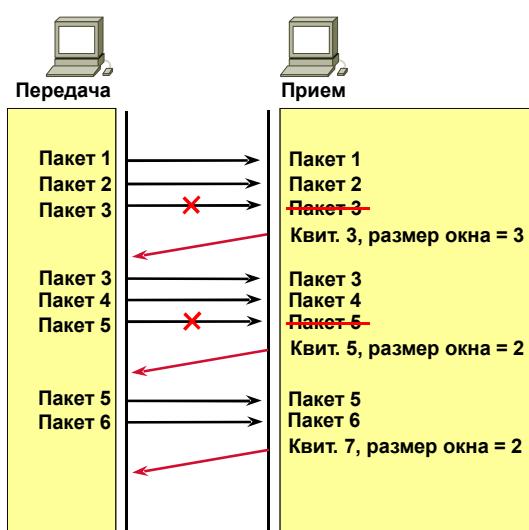
Размер окна = 1



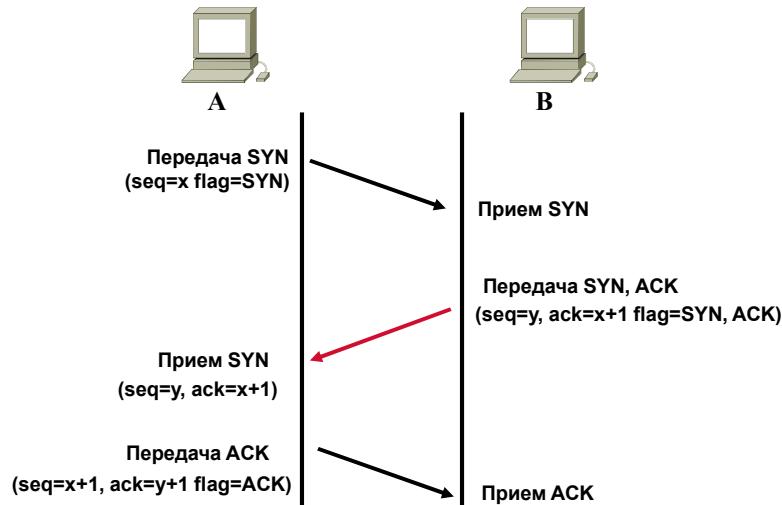
Размер окна = 3



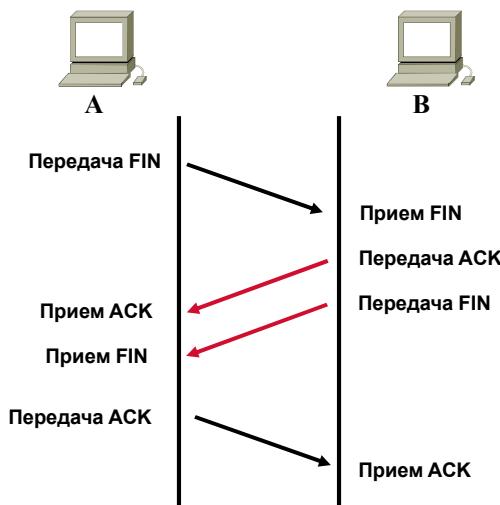
Скользящее окно



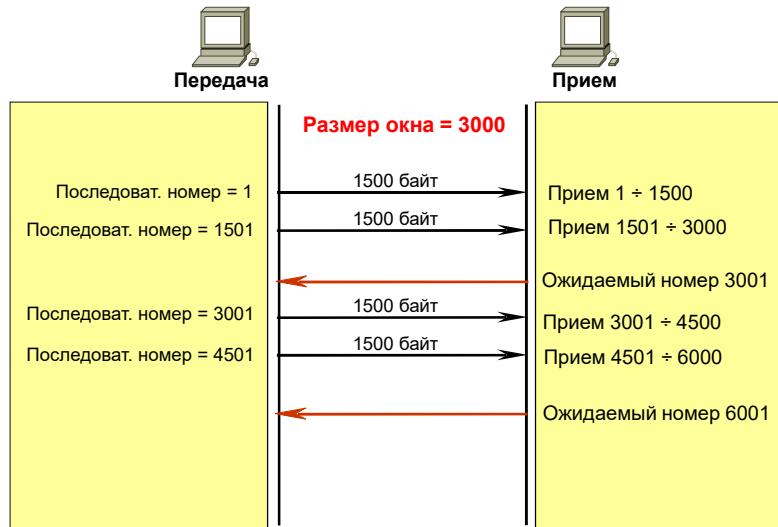
Установление TCP-соединения



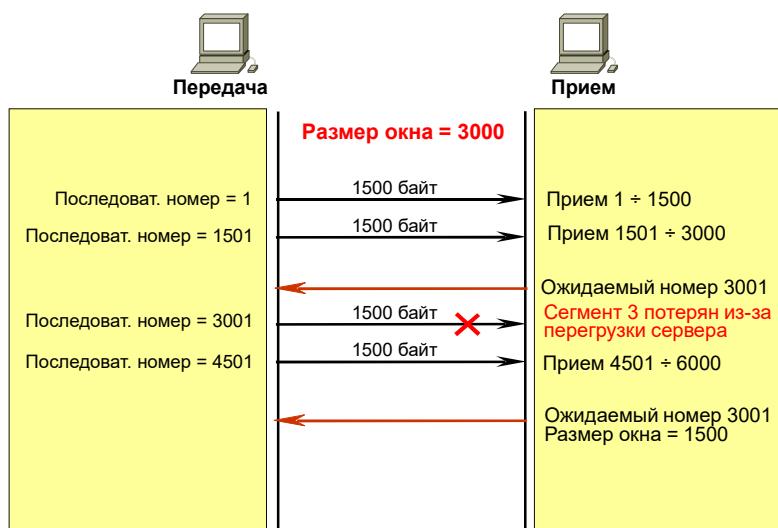
Завершение TCP-соединения



Передача данных



Управление потоком при перегрузке



TCP Selective Acknowledgment Options (RFC 2018)

Опции селективных подтверждений TCP

Опция Sack-Permitted

Эта двухбайтовая опция может передаваться в сегменте SYN модулем TCP, который способен принимать (и, предположительно, обрабатывать) опции SACK после организации соединения.

Kind = 4	Length = 2
----------	------------

Опция TCP SACK

Опция содержит список непрерывных блоков порядковых номеров попадающих в окно данных, которые были приняты и помещены в очередь

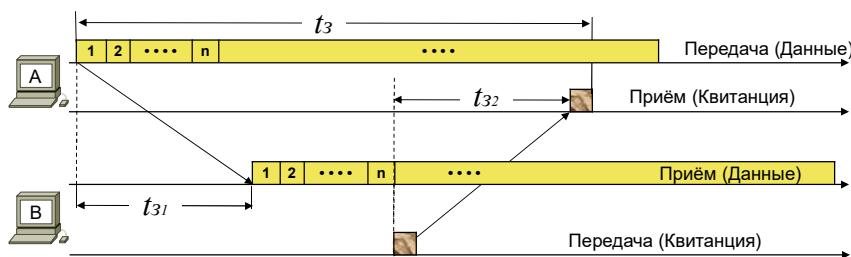
Kind = 5	Length
Left Edge of 1st Block	
Right Edge of 1st Block	
⋮	⋮
Left Edge of nth Block	
Right Edge of nth Block	

Left Edge of Block: Первый порядковый номер для данного блока.

Right Edge of Block: Порядковый номер, непосредственно следующий за последним порядковым номером данного блока.

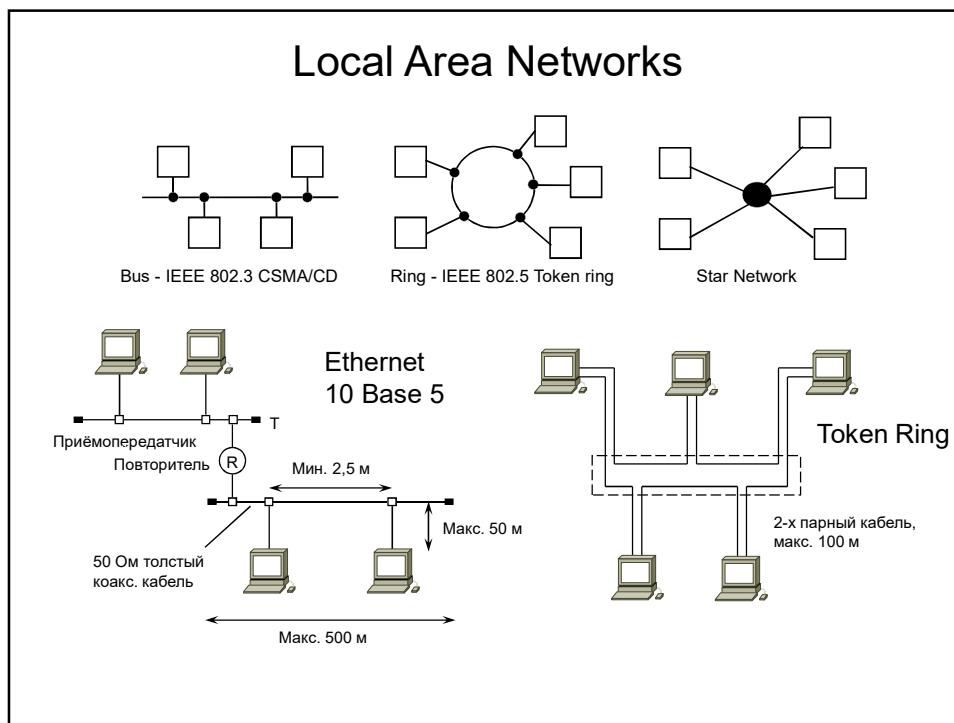


Задержки и размер окна



$$\begin{aligned} t_3 &\cong 200 \text{ мс} \\ B &= 10 \text{ Мбит/c} \end{aligned}$$

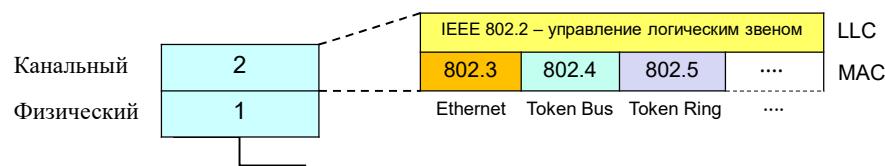
$$L = B * t_3 = 2 \text{ Мбит} = 250 \text{ кбайт}$$



Стандарты IEEE по локальным сетям.

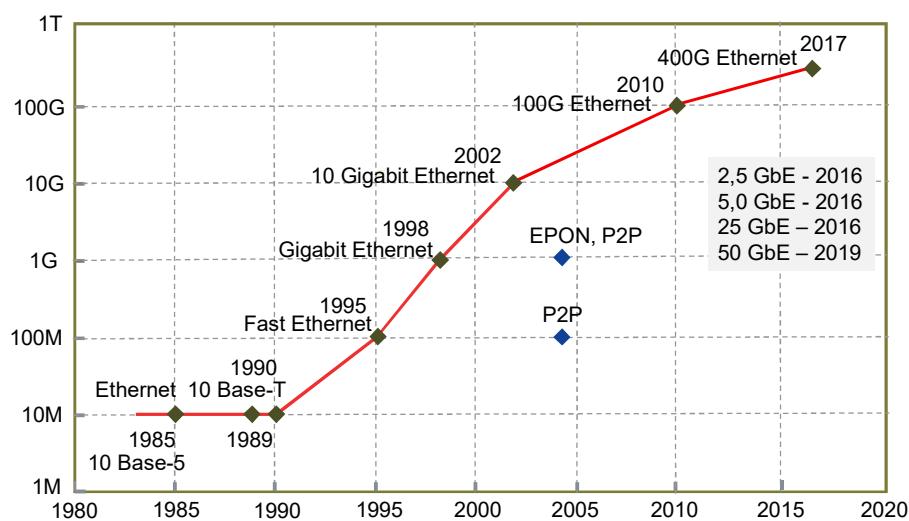
- 802.1 – объединение сетей
- 802.2 – управление логическим звеном (LLC)
- 802.3 – ЛВС с множественным доступом, контролем несущей и обнаружением коллизий (CSMA/CD, Ethernet)
- 802.4 – ЛВС шинной топологии с передачей маркера
- 802.5 – ЛВС кольцевой топологии с передачей маркера (Token Ring)
- 802.6 – сеть масштаба города (Metropolitan Area Network, MAN)
- 802.7 – консультативный совет по широковещательной технологии (Broadcast Technical Advisory Group)
- 802.8 – консультативный совет по оптоволоконной технологии (Fiber-Optic Technical Advisory Group)
- 802.9 – интегрированные сети с передачей речи и данных (Integrated Voice/Data Networks)
- 802.10 – безопасность сетей
- 802.11 – беспроводные локальные сети (WLAN)
- 802.12 – ЛВС с доступом по приоритету запроса (Demand Priority Access LAN, 100VG-Anylan)
- 802.14 – рабочая группа по кабельным модемам
- 802.15 – Wireless Personal Area Networks (WPAN) Bluetooth
- 802.16 – Широкополосный беспроводной доступ
- 802.17 – Resilient Packet Ring (RPR)
- 802.18 – Техническая консультативная группа по радиочастотному регулированию (RadioRegulatoryTAG)
- 802.19 – Совместимость беспроводных сетей
- 802.21 – Услуги передачи данных между сетями одного типа или разных типов (Media Independent Handover Services)
- 802.22 – Беспроводная региональная сеть (WRAN)

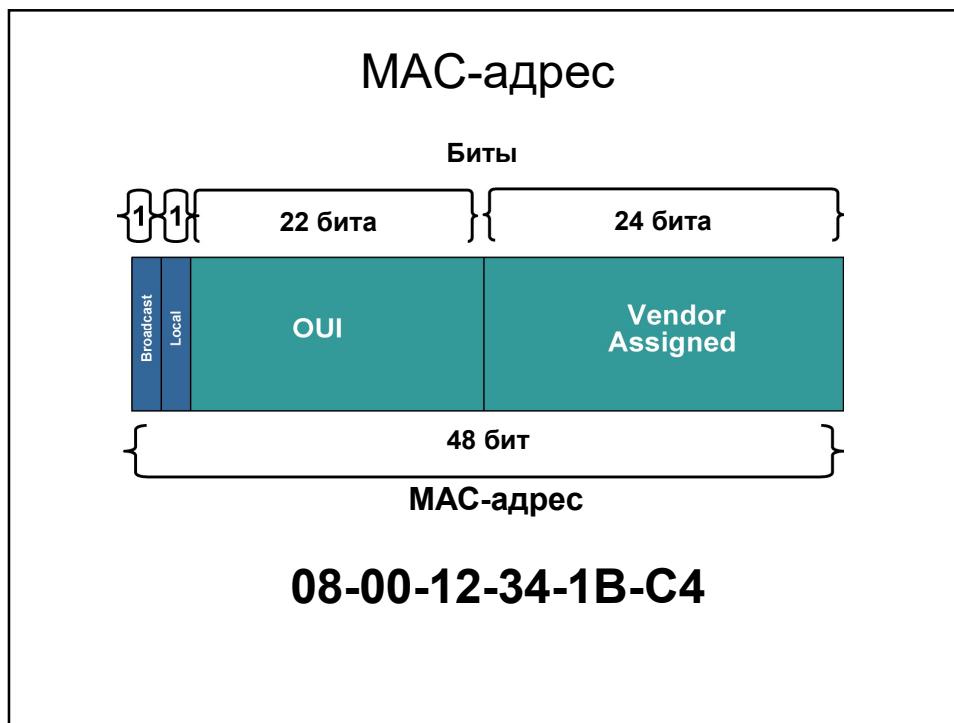
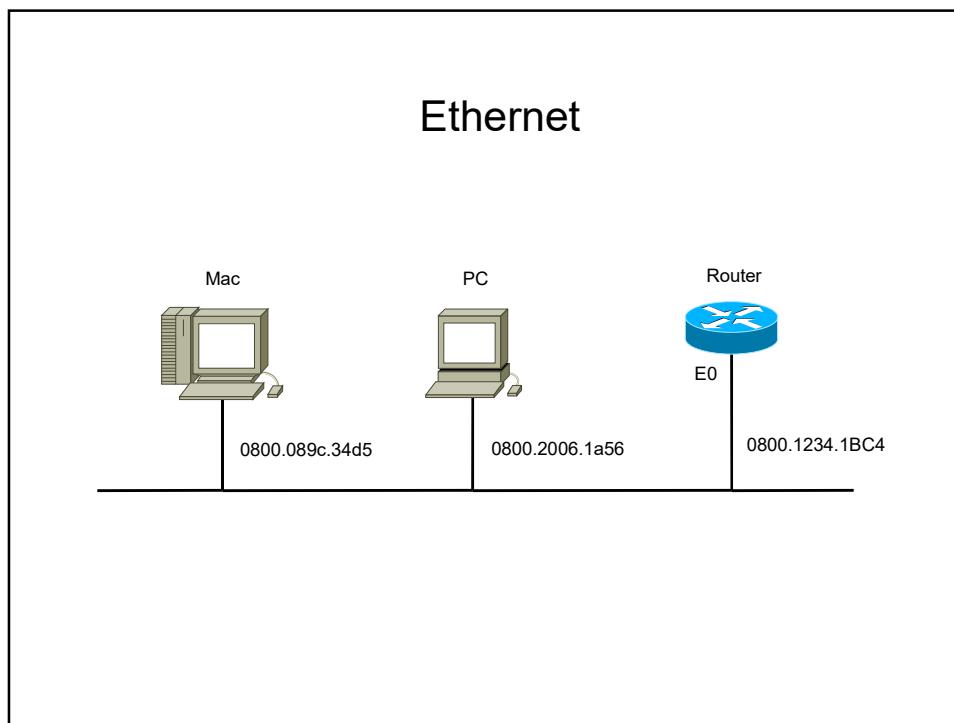
Локальные сети. Уровневая модель



LLC – Logical Link Control
MAC – Media Access Control

Эволюция технологии Ethernet





Форматы кадров Ethernet и IEEE 802.3

Ethernet						
7	1	6	6	2	46-1500	4
Preamble	Start of frame delimiter	Destination Address	Source Address	Type	Data	Frame Check Sequence

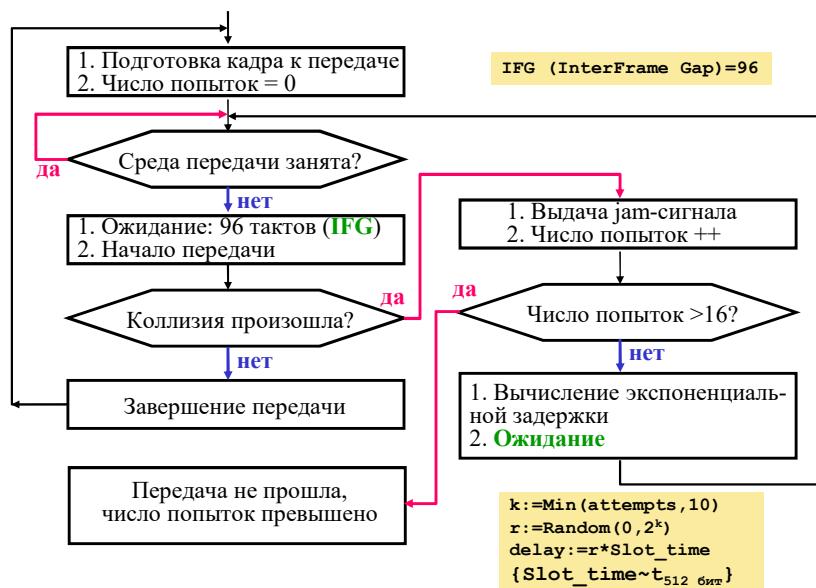
IEEE 802.3						
7	1	6	6	2	64-1500	4
Preamble	Start of frame delimiter	Destination Address	Source Address	Length	802.2 Header and Data	Frame Check Sequence

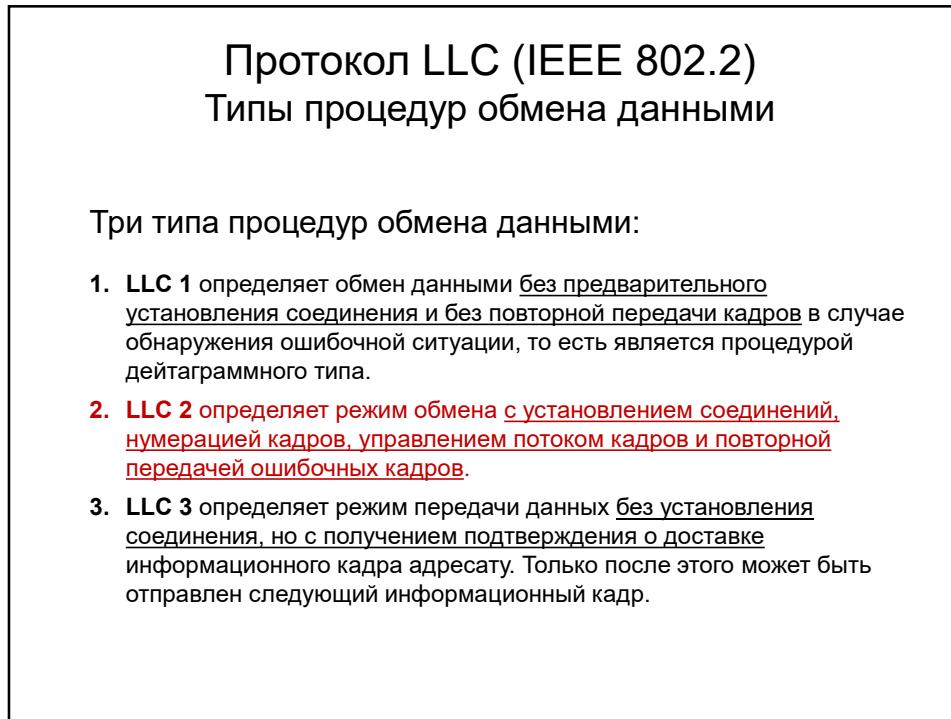
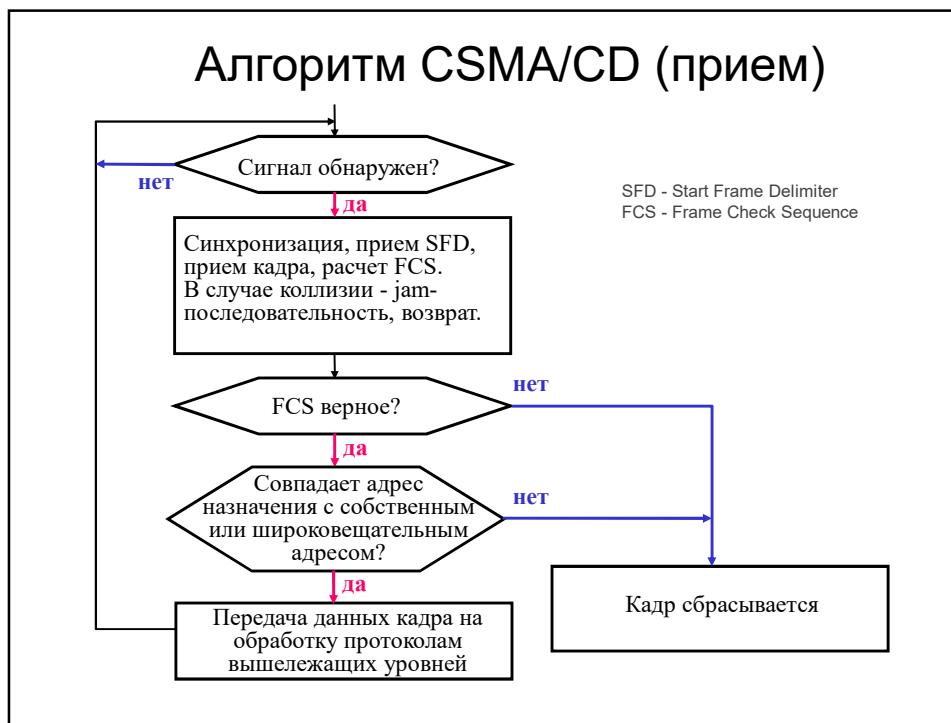
10101010.....10101010 10101011

Максимальный размер кадра 1518 байт или 0x05EE.
Поэтому, значение Type не бывает меньше чем 0x05EE.
Начинается со значения 0x0600.

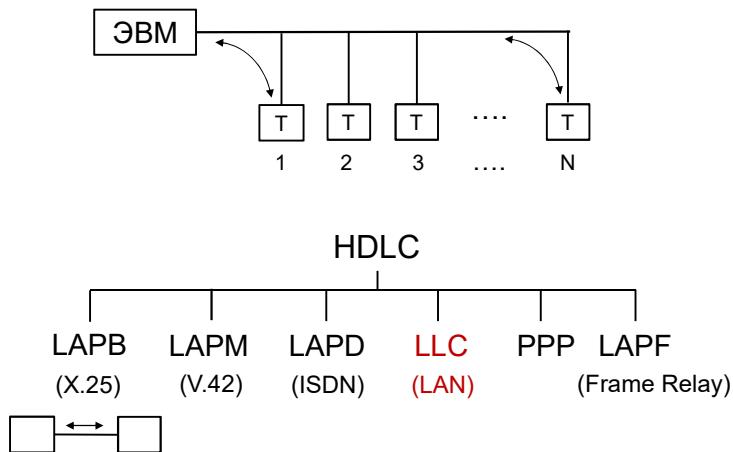
Поле Type: IPv4 - 0x0800, IPv6 - 0x86DD, IPX - 0x8137, AppleTalk - 0x809b, ARP - 0x0806, Ethernet flow control - 0x8808

Алгоритм CSMA/CD (передача)





Протокол HDLC (High-level Data Link Control)



Протокол LLC (IEEE 802.2)

Протокол IEEE 802.2 LLC (управление логическим каналом) обеспечивает сервис для протоколов вышележащих уровней.

- **LLC 2** определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров (connection oriented).

Формат заголовка LLC

DSAP	SSAP	Управление	Данные
1 байт	1 байт	1 или 2 байта	

DSAP (destination service access point)
Адрес точки входа сервиса назначения

I/G	Адрес
	1 байт

0 - индивидуальный адрес;
1 - групповой адрес.

SSAP (source service access point)
Адрес точки входа сервиса источника

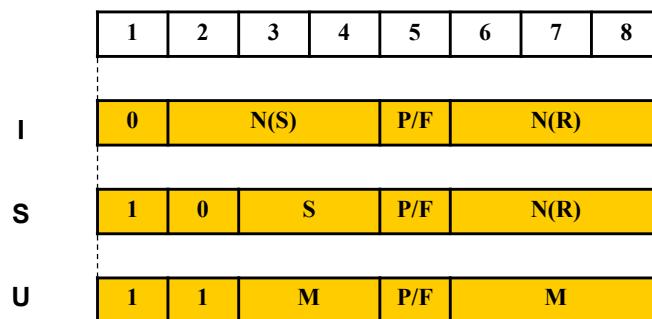
I/G	Адрес
	1 байт

0 - команда;
1 - отклик на команду.

Примеры SAP

04	IBM SNA
06	IP
80	3Com
AA	SNAP
BC	Banyan
E0	Novell IPX/SPX
F4	FE CLNS

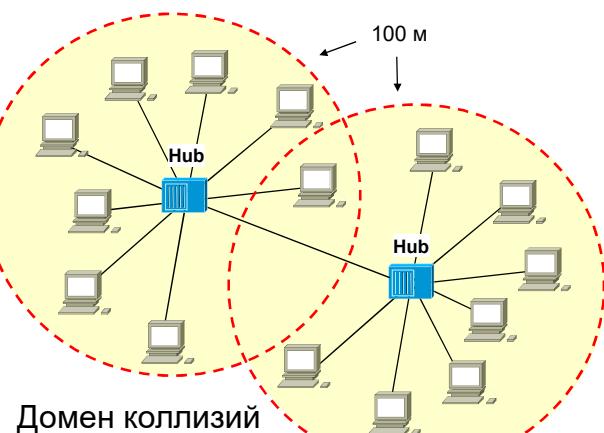
Протокол LLC. Поле управления



Биты S:

- 00 - RR (готов к приему);
- 01 - REJ (отказ от кадров);
- 10 - RNR (не готов к приему).

Покрываемая область



Концентратор или повторитель позволяют
увеличить покрываемую область

Ограничения механизма CSMA/CD

(Масштабируемость Ethernet)

- Максимальное расстояние между станциями – D [м]
- Максимальная скорость передачи – B [бит/с]
- Минимальный размер кадра – L [бит]

$$T_n = \frac{L}{B}; \quad t_p = \frac{D}{V}; \quad 2t_p \leq T_n$$

где V – скорость распространения сигнала [м/с]
 T_n – время передачи кадра минимального размера
 t_p – время распространения сигнала

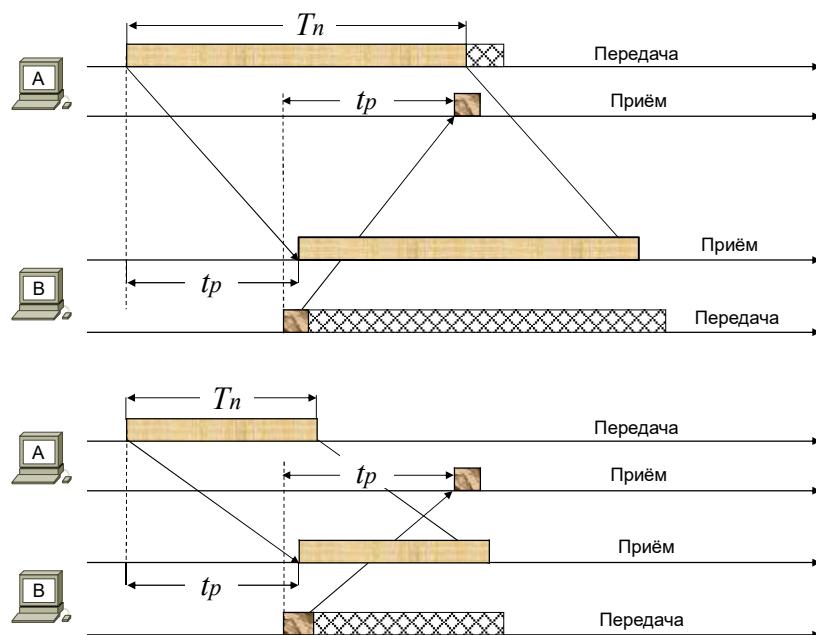
Максим. расстояние при:

- $B = 10$ Мбит/с – 2500 м
- $B = 1000$ Мбит/с – 25 м

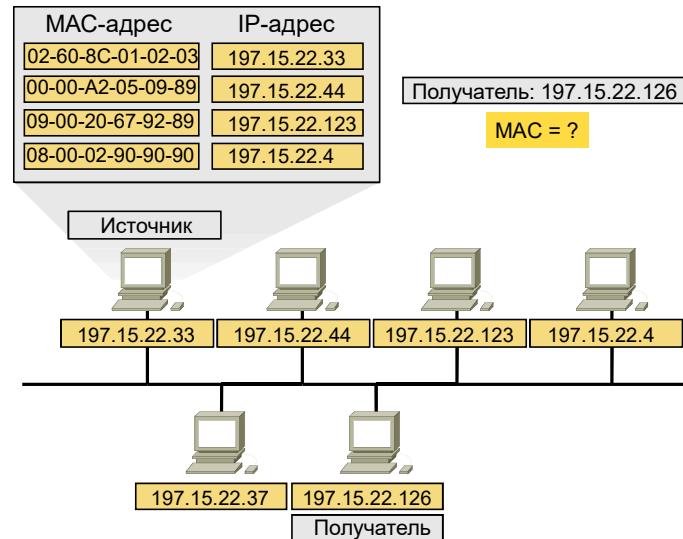
- Количество станций в сети
- Плоская система адресации

Отсутствие механизмов обеспечения QoS

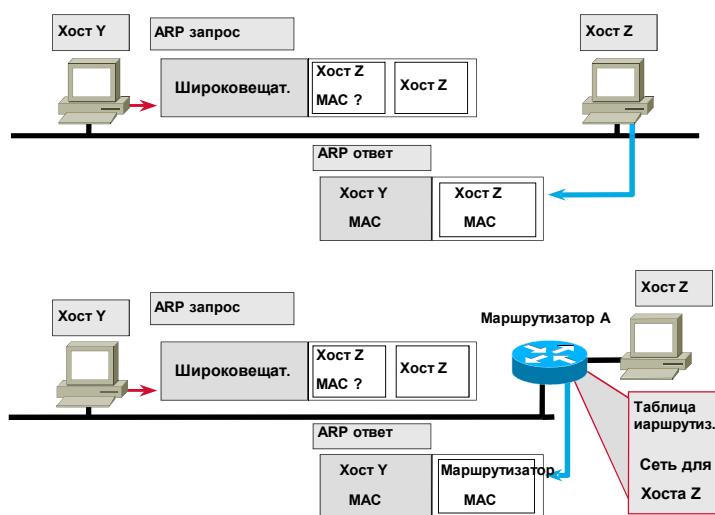
Обнаружение коллизий



Протокол ARP (Address Resolution Protocol) ARP-таблица



Протокол ARP (RFC-826)



Структура ARP-запроса

Заголовок MAC	Заголовок IP	ARP-запрос
Получатель: FF-FF-FF-FF-FF-FF Источник: 02-60-8C-01-02-03	Получатель: 197.15.22.126. Источник: 197.15.22.33	Какой ваш MAC-адрес?

Структура кадра ARP

0	15	31
Hardware type (HTYPE)	Protocol type (PTYPE)	
Hardware length (HLEN)	Protocol length (PLEN)	Operation
Sender hardware address (SHA)		
Sender hardware address (SHA)	Sender protocol address (SPA)	
Sender protocol address (SPA)	Target hardware address (THA)	
Target hardware address (THA)		
Target protocol address (TPA)		

- Hardware type (HTYPE) Протокол канального уровня (Ethernet – 0x0001)
- Protocol type (PTYPE) Код сетевого протокола. (IPv4 - 0x0800)
- Hardware length (HLEN) Длина физического адреса в байтах. (Ethernet – 6 байт).
- Protocol length (PLEN) Длина логического адреса в байтах (IPv4 – 4 байта).
- Operation Код операции отправителя (см. таблицу)
- Sender hardware address (SHA) Физический адрес отправителя.
- Sender protocol address (SPA) Логический адрес отправителя (IP).
- Target hardware address (THA) Физический адрес получателя. Поле пусто при запросе.
- Target protocol address (TPA) Логический адрес получателя (IP).

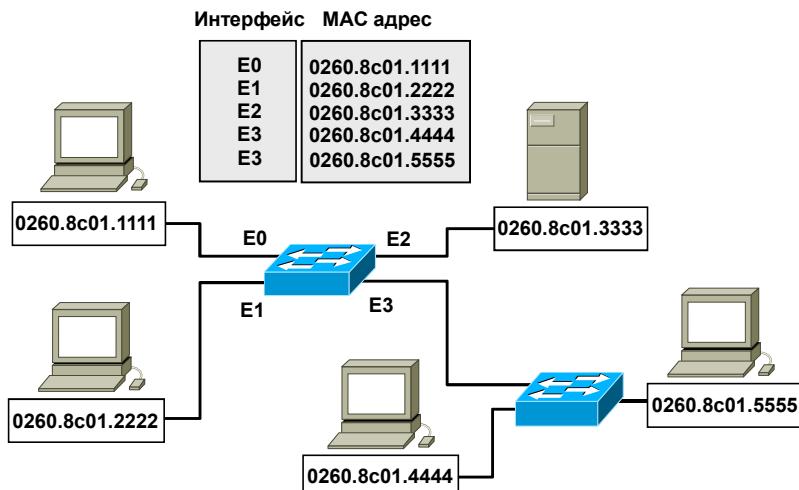
Отличие кадров RARP и ARP заключается только в значении поля EtherTYPE:

- RARP 8035
- ARP 0806

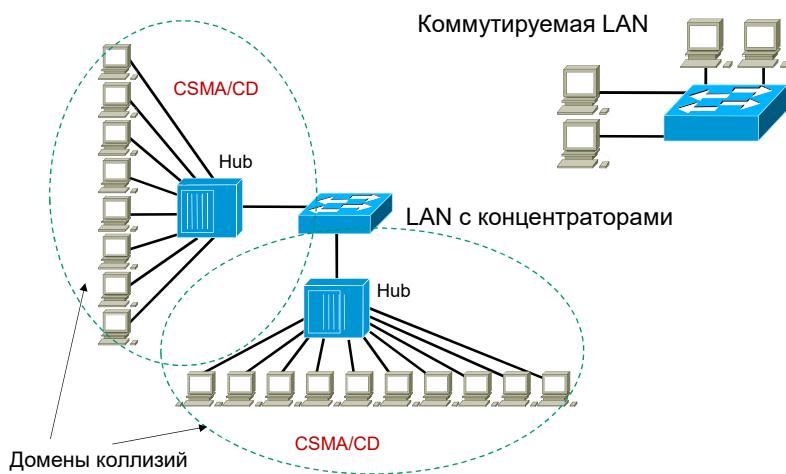
Operation	Значение
ARP Request	1
ARP Response	2
RARP Request	3
RARP Response	4

Коммутаторы.

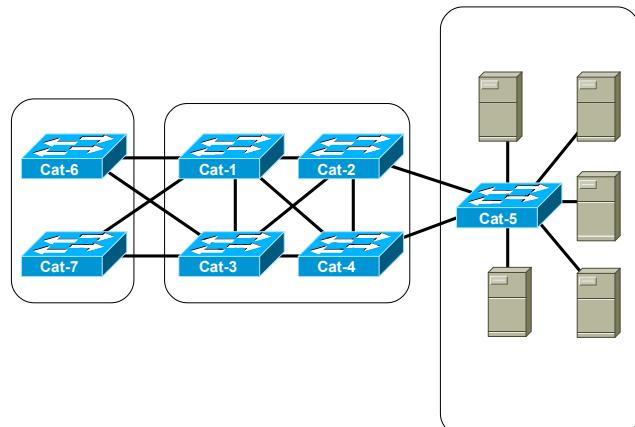
Таблица MAC-адресов (Таблица коммутации)



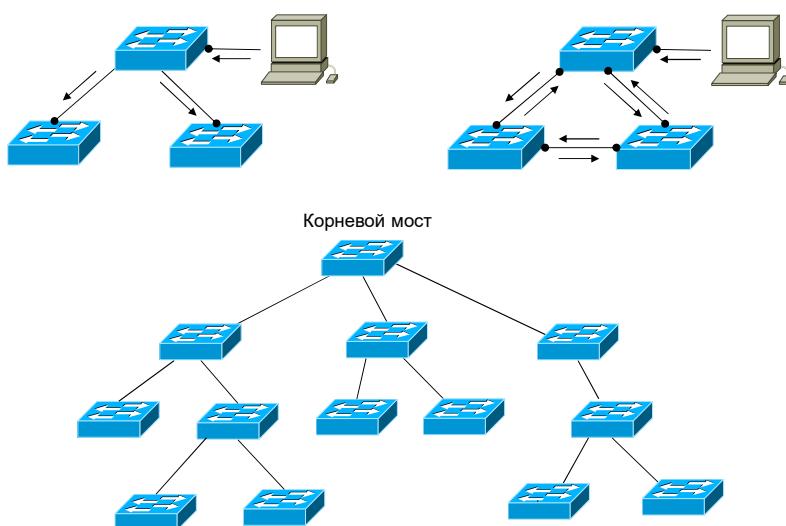
Домены коллизий при использовании коммутаторов



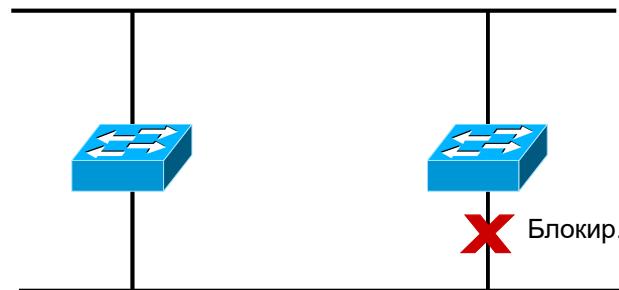
Протокол STP. Избыточные связи



Spanning Tree Protocol



Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1D)



- Обеспечивает топологию без петель

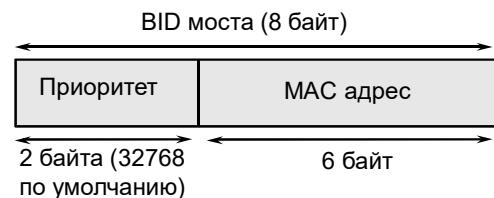
Три этапа:

- Выбор корневого моста
- Выбор корневых портов
- Выбор назначенных портов

Протокол STP

Идентификатор моста - BID

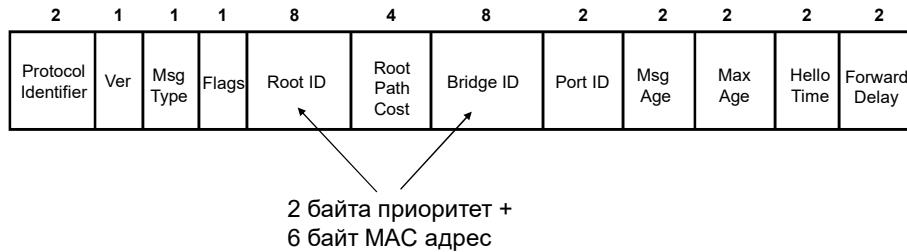
Мост с наименьшим BID - корневой мост



СТОИМОСТЬ маршрута

Скорость, Мбит/с	STP стоимость
10	100
100	19
1000	4
10000	2

IEEE 802.1D Формат кадра BPDU (Bridge Protocol Data Unit)

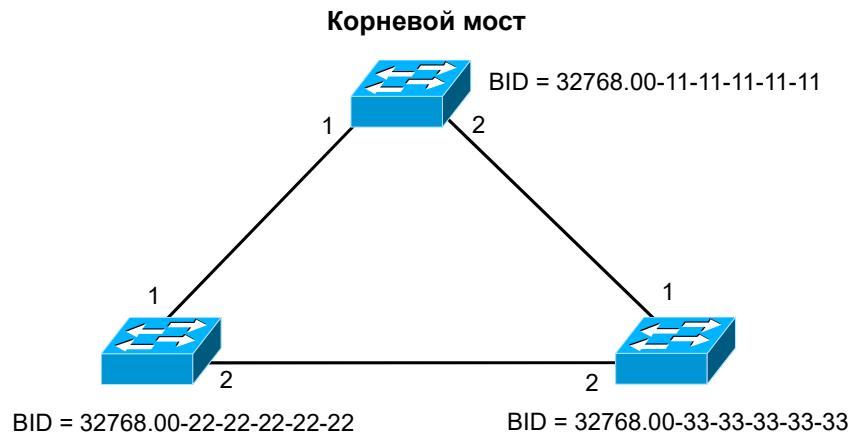


Протокол STP

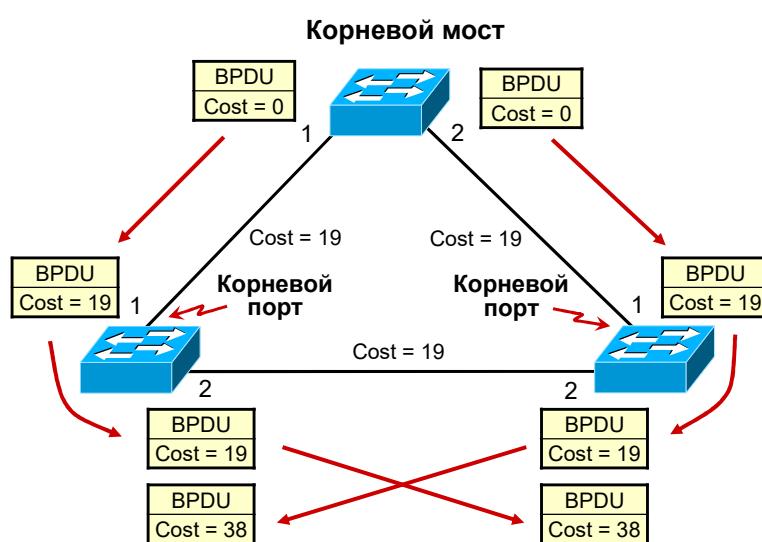
Стоимость маршрута для каналов со
скоростями 10 Гбит/с и выше

Скорость	STP стоимость
100 кбит/с	200 000 000
1 Мбит/с	20 000 000
10 Мбит/с	2 000 000
10 Мбит/с	200 000
1 Гбит/с	20 000
10 Гбит/с	2 000
100 Гбит/с	200
1 Тбит/с	20
10 Тбит/с	2

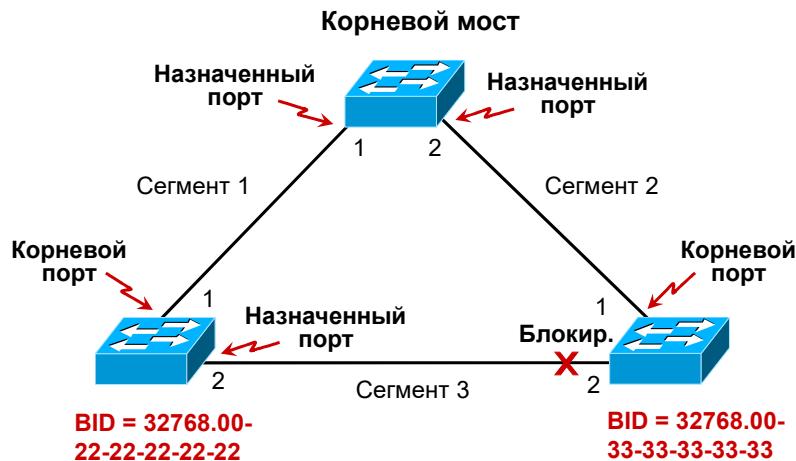
Выбор корневого моста



Выбор корневых портов



Выбор назначенных портов



Маршрутизация – определение пути передачи данных от узла-отправителя к узлу-получателю через промежуточные маршрутизаторы.

Маршрутизация включает следующие действия:

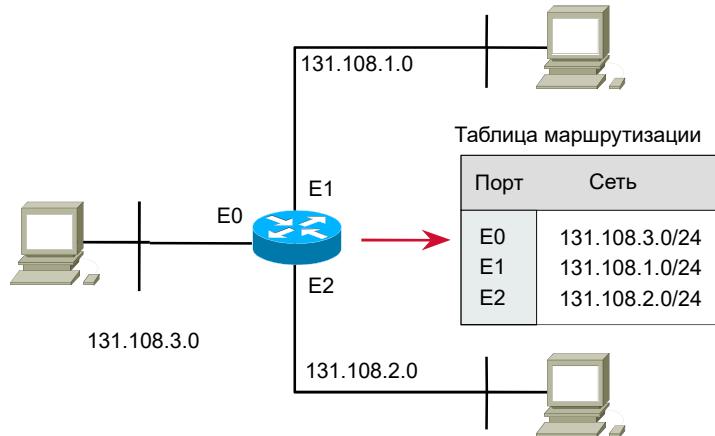
- построение таблиц маршрутизации;
- анализ IP-адреса получателя в заголовке пакета и определение лучшего пути до получателя по таблице маршрутизации;
- передача пакета к следующему маршрутизатору или к получателю.

Таблицы маршрутизации хранятся на маршрутизаторах.

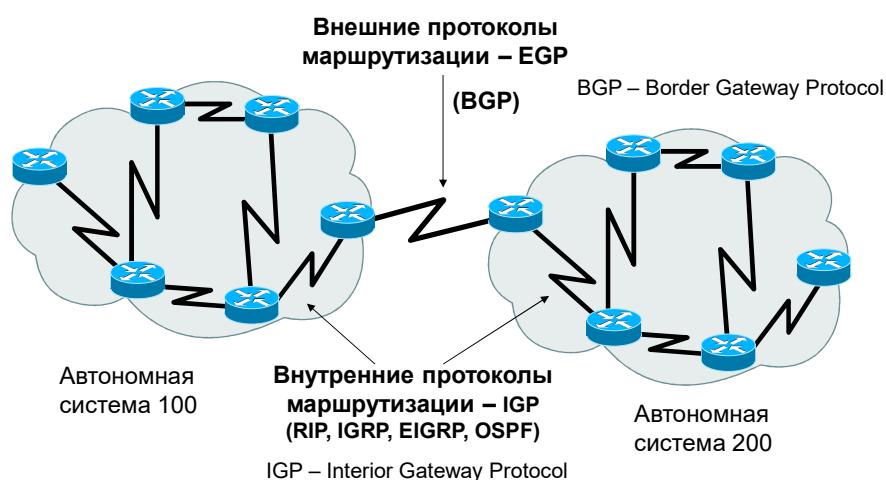
По принципам формирования разделяются на:

- **статические**: прописываются вручную администратором и изменяются по мере необходимости (например, при подключении нового маршрутизатора)
- **динамические**: строятся и изменяются автоматически в зависимости от текущего состояния сети.

Маршрутизация



Автономные системы: Внутренние и внешние протоколы маршрутизации



Номера AS в диапазоне от 1 до 65535.
Номера AS от 64512 до 65535 для частного использования

Автономная система

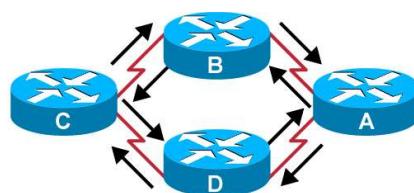
Автономная система (AS) в интернете — это система IP-сетей и маршрутизаторов, управляемых одним или несколькими операторами, имеющими единую политику маршрутизации с Интернетом. Уникальный номер AS (или ASN) присваивается каждой AS для использования в BGP маршрутизации. На середину 2011 года имелось более 37 тысяч автономных систем.

Номера AS выделяются Internet Assigned Numbers Authority, которая также выделяет IP-адреса, региональным интернет-регистраторам (Regional Internet Registry) блоками. Локальные RIR затем присваивают организации номер AS из блока, полученного от IANA. Текущий список присвоенных ASN можно увидеть на веб-сайте IANA.

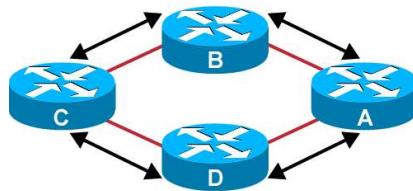
До 2007 года использовались 16-битные номера AS, что обеспечивает максимум 65536 AS, часть из которых (номера от 64512 до 65534) зарезервирована для частного использования. Кроме того, номера 0 и 56320 - 64511 зарезервированы IANA и не могут использоваться для маршрутизации. В 2007-м году вышел стандарт на 32-битные номера AS RFC 4893, что позволяет адресовать 2^{32} автономных систем, не теряя совместимости с уже имеющимися 16-битными ASN.

Классы протоколов маршрутизации

Distance Vector

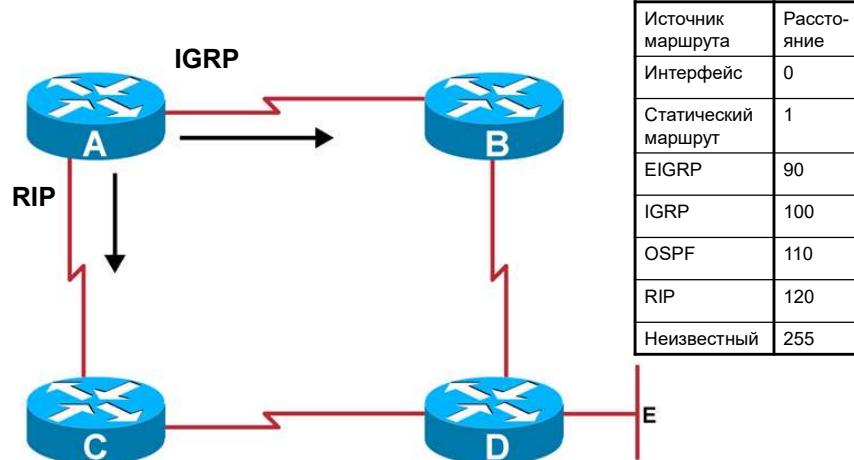


Hybrid Routing

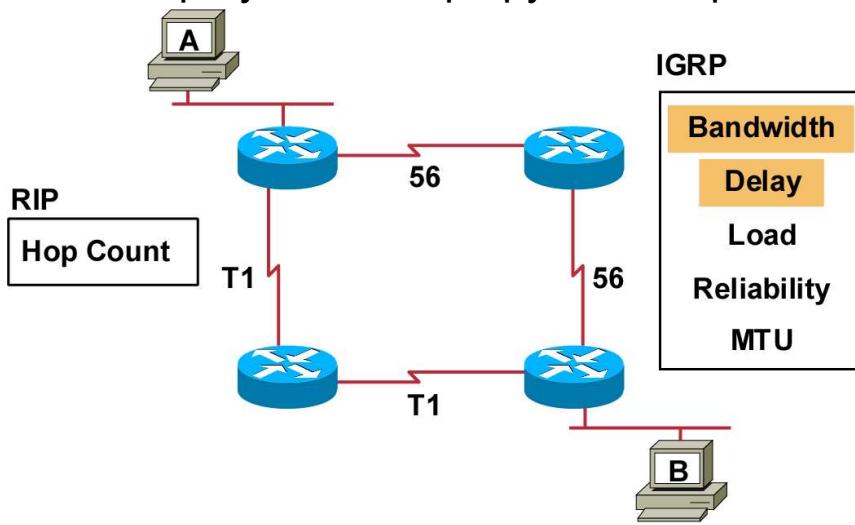


Link State

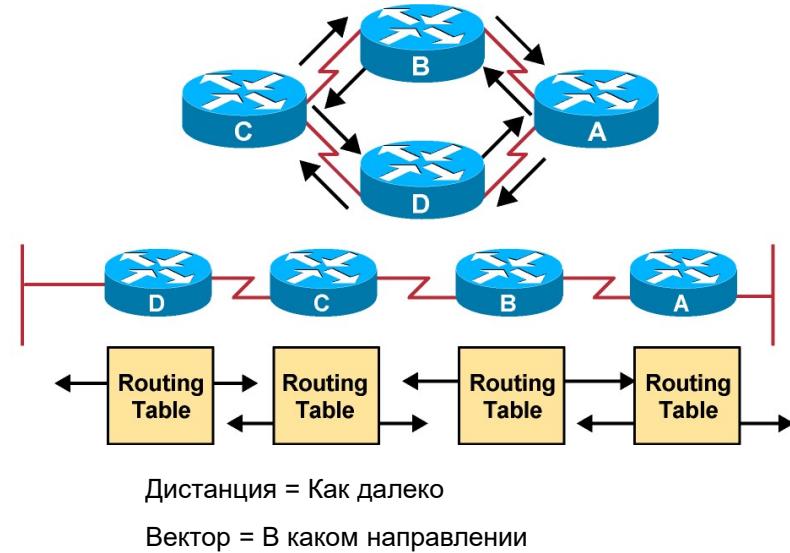
Административное расстояние



Выбор лучшего маршрута и метрики

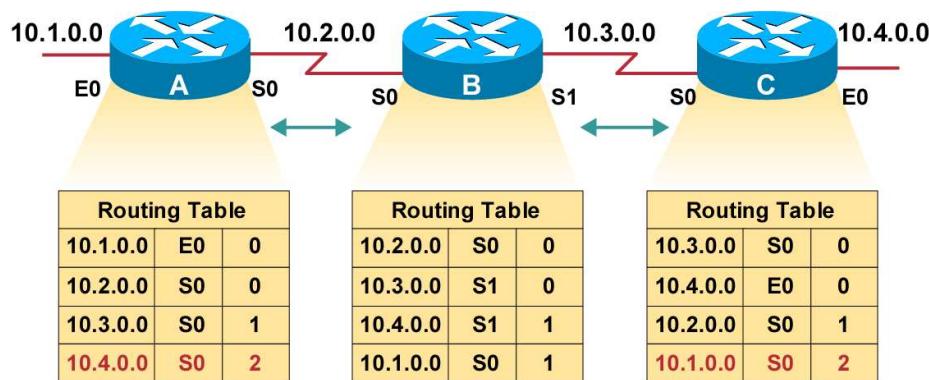


Протоколы маршрутизации “Distance Vector”



Протокол RIP.

(Routing Information Protocol)



Несовместимые записи в таблицах



Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	2

Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	1
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	E0	Down
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2



Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	2

Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	1
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	S0	2
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2

Маршрутизатор С считает, что лучший путь к сети 10.4.0.0 через маршрутизатор В

Несовместимые записи в таблицах



Маршрутизатор А обновляет свою таблицу, но с неправильным значением "hop count"

Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	4

Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	3
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	S0	2
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2

Счет до бесконечности

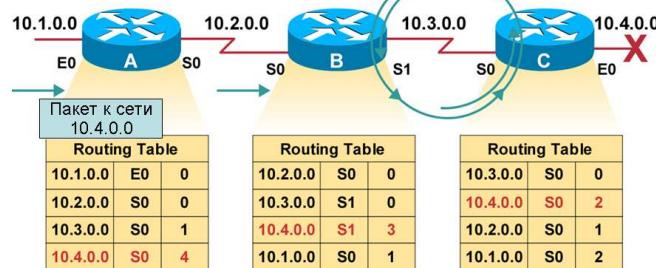


Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	6

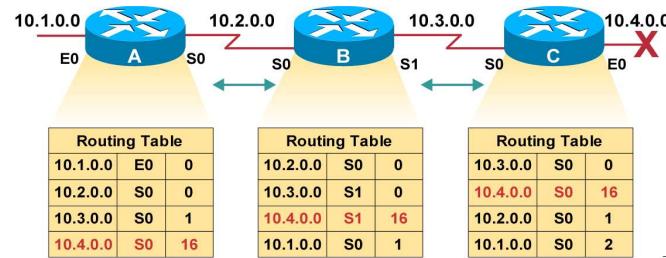
Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	5
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	S0	4
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2

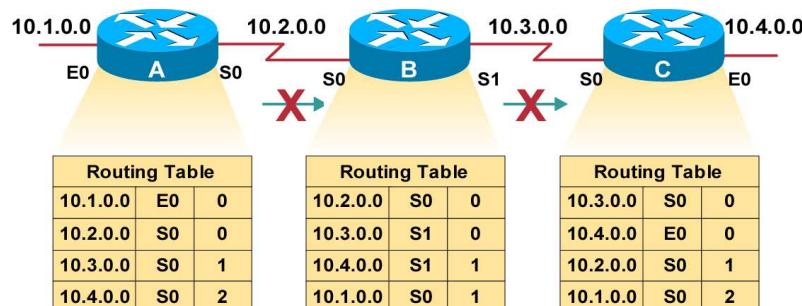
Петли маршрутизации



Определение максимального значения “hop count”



Split Horizon



Route Poisoning

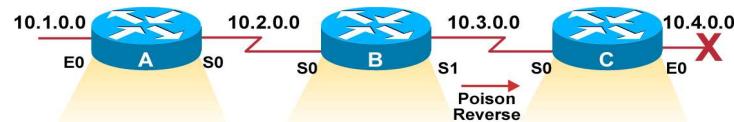


Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	2

Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	1
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	E0	Down
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2

Poison Reverse

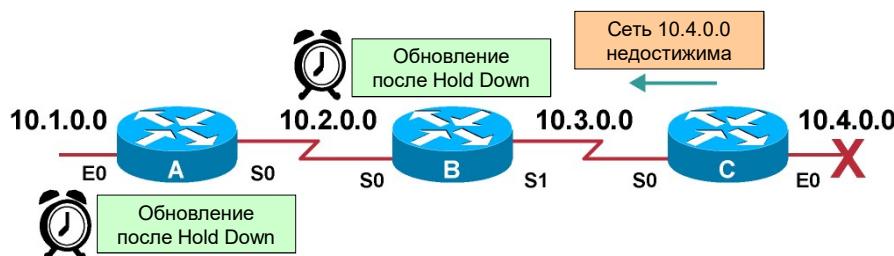


Routing Table		
10.1.0.0	E0	0
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S0	1
10.4.0.0	S0	2

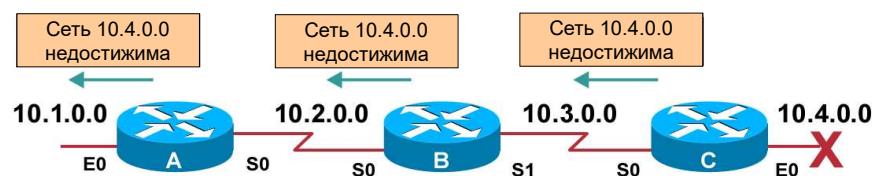
Routing Table		
10.2.0.0	S0	0
10.3.0.0	S1	0
10.4.0.0	S1	Possibly Down
10.1.0.0	S0	1

Routing Table		
10.3.0.0	S0	0
10.4.0.0	S0	Infinity
10.2.0.0	S0	1
10.1.0.0	S0	2

Таймеры “Hold down”



Triggered Updates



Протокол RIPv2

- поддержка масок переменной длины;
- групповая рассылка (групповой адрес IP 224.0.0.9);
- поддержка суммирования маршрутов вручную;
- поддержка аутентификации

Протокол работает поверх UDP и использует порт 520

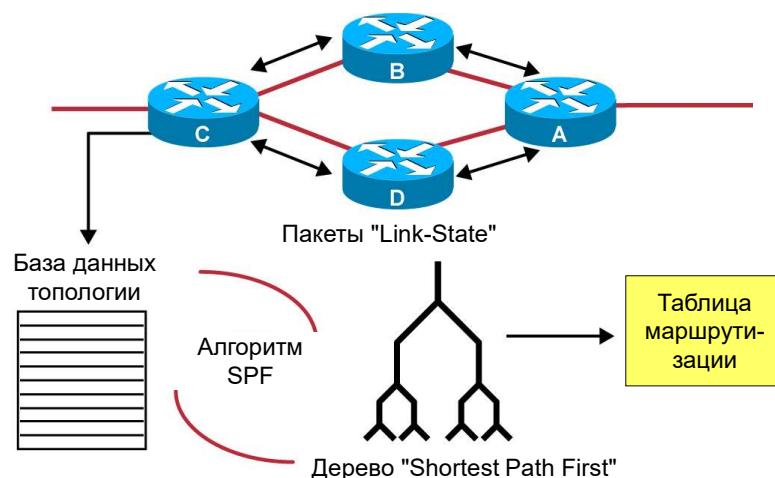
Формат сообщений протокола

Код команды	Номер версии	0
Идентификатор семейства адресов		Тег маршрута
		IP-адрес сети
		Маска подсети
		Следующий маршрутизатор – Next Hop
		Метрика
	

Код команды:
 1 – запрос (request) на получение таблицы маршрутизации;
 2 – отклик (response), содержащий таблицу маршрутизации
 Идентификатор семейства адресов (Address Family Identifier – AFI) = 2 для IP
 Тег маршрута: переносит такую информацию, как номер автономной системы

Протоколы маршрутизации “Link-State”

Протокол OSPF - Open Shortest Path First (RFC 2328)



Метрика: $10^8/B$

Из формулы видно, что каналы связи со скоростями выше 100 Мбит/с будут иметь одинаковую метрику равную 1. Можно менять от 1 до 4294967 (по умолчанию = 100)

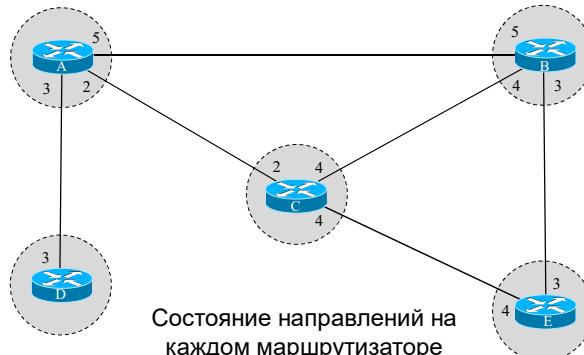
Терминология

Link: Интерфейс маршрутизатора

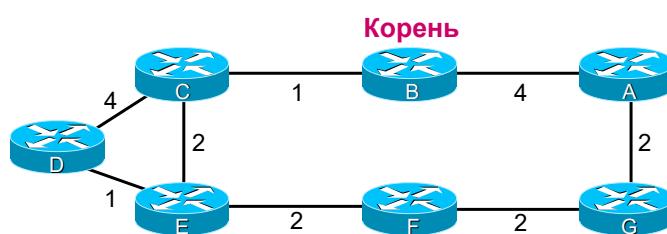
Link state: Описание интерфейса и его взаимосвязи с соседними маршрутизаторами, включая:

- IP адрес/маска на интерфейсе,
- Тип сети
- Маршрутизаторы, подключенные к этой сети
- Метрика (стоимость) на этом интерфейсе

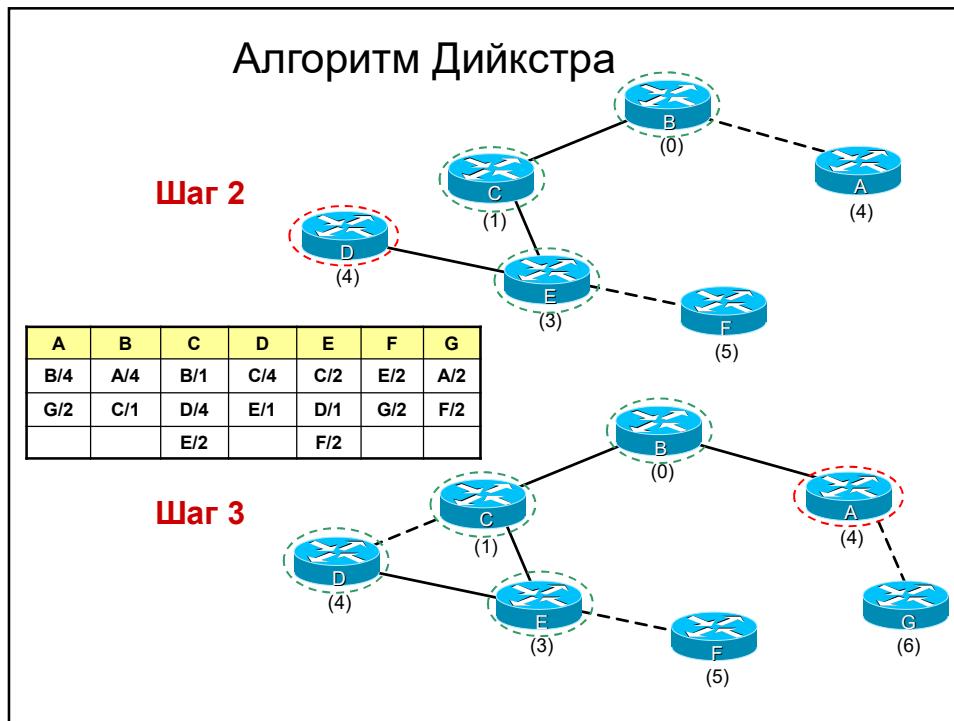
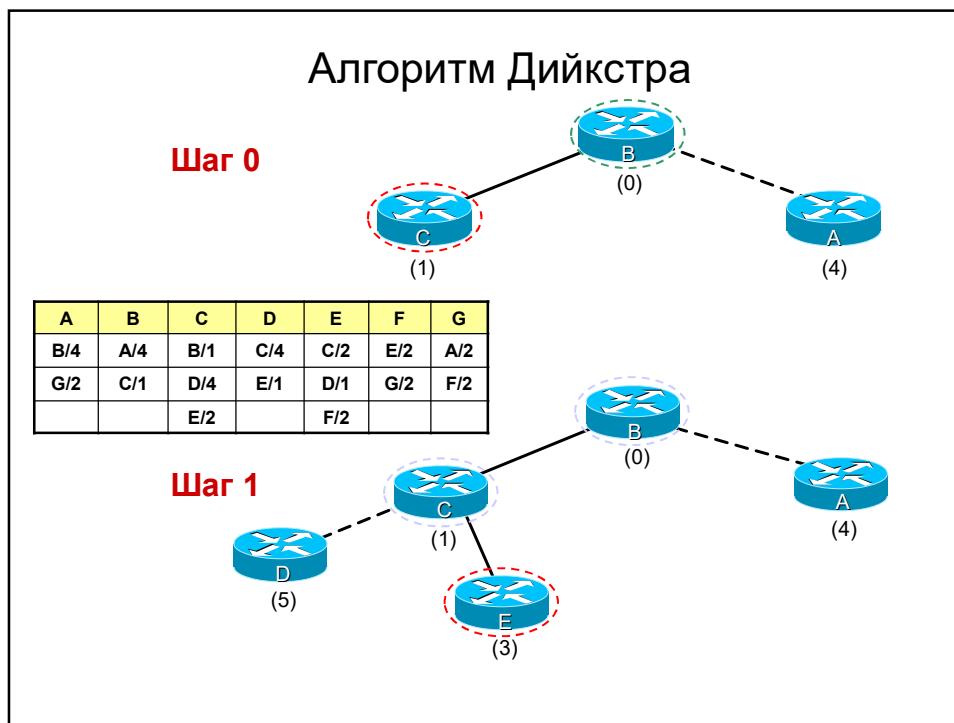
Набор всех link-state образует **link-state database**

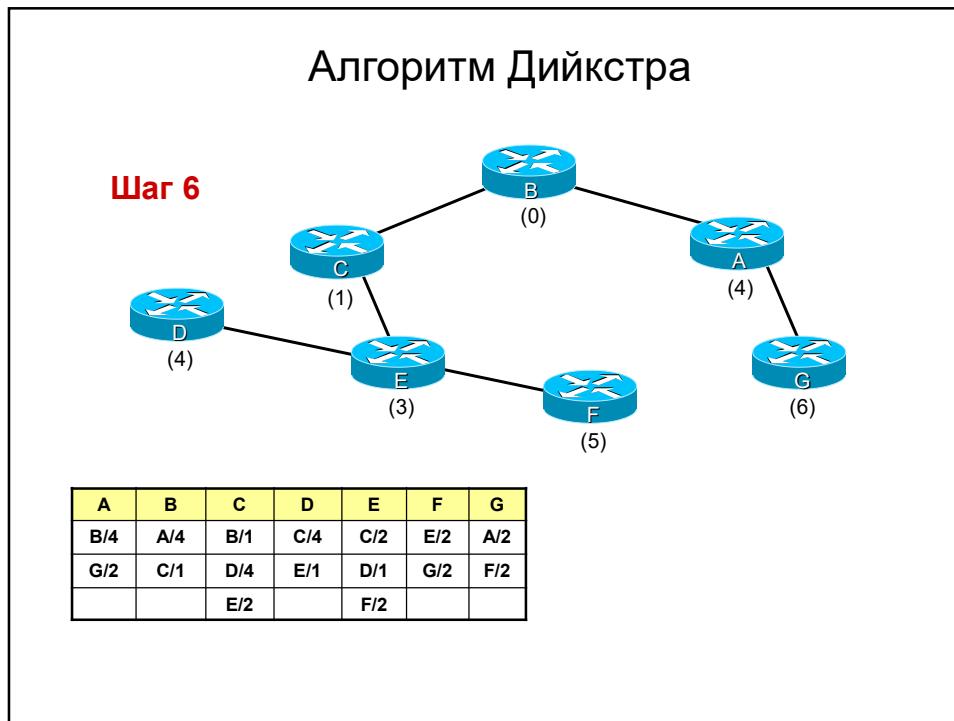
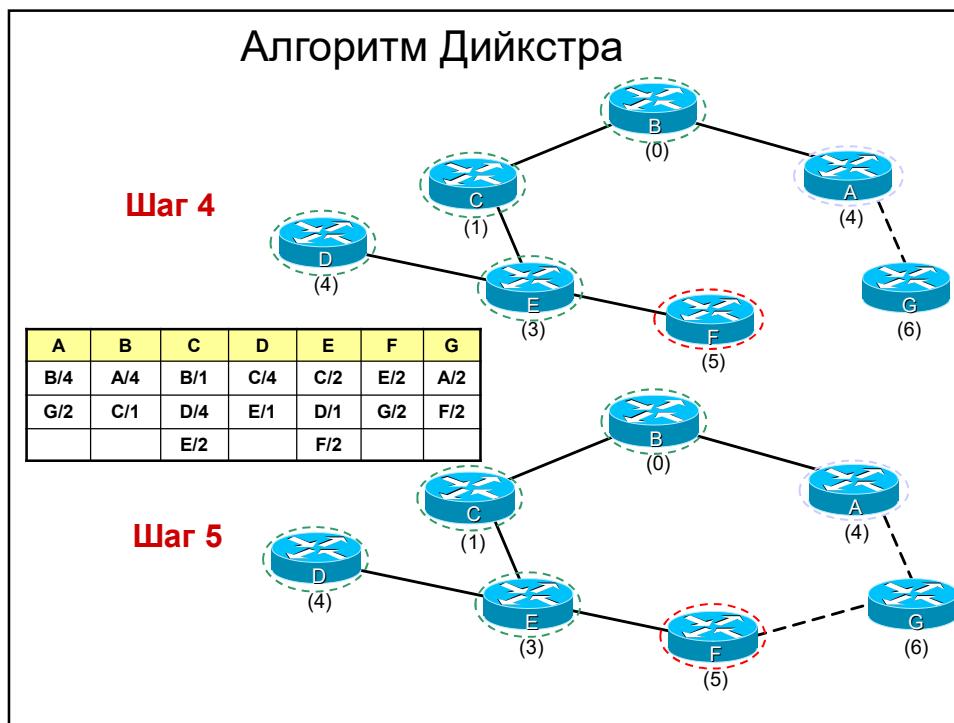


Алгоритм Dijkstra

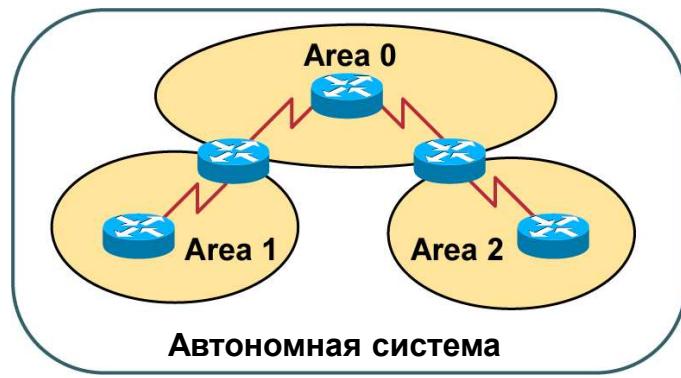


A	B	C	D	E	F	G
B/4	A/4	B/1	C/4	C/2	E/2	A/2
G/2	C/1	D/4	E/1	D/1	G/2	F/2
		E/2		F/2		

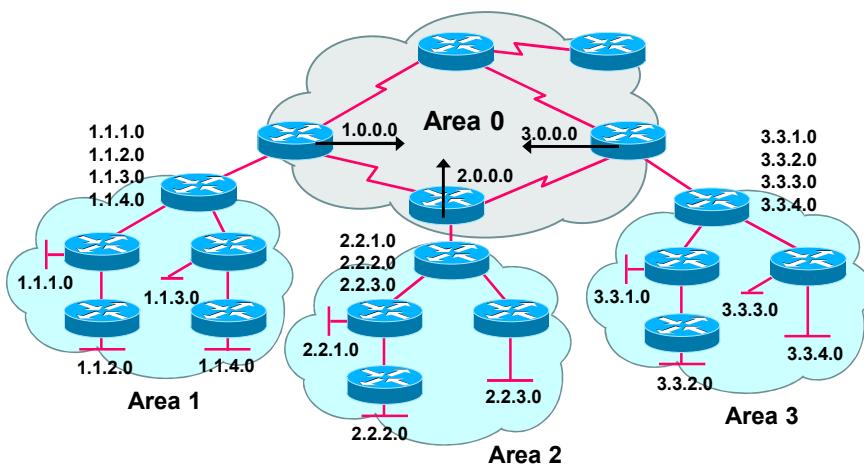




Иерархическая маршрутизация OSPF



Иерархическая маршрутизация OSPF

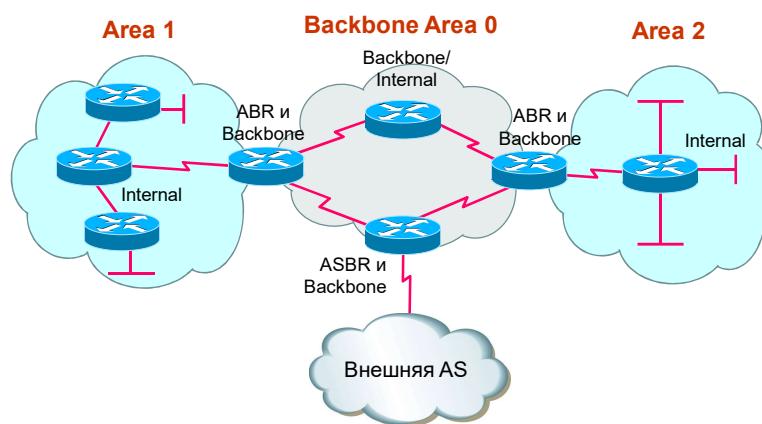


В Область 0 передается только обобщенная (суммированная) информация.
Информация об изменениях не распространяется за пределы областей

Особенности реализации протокола OSPF

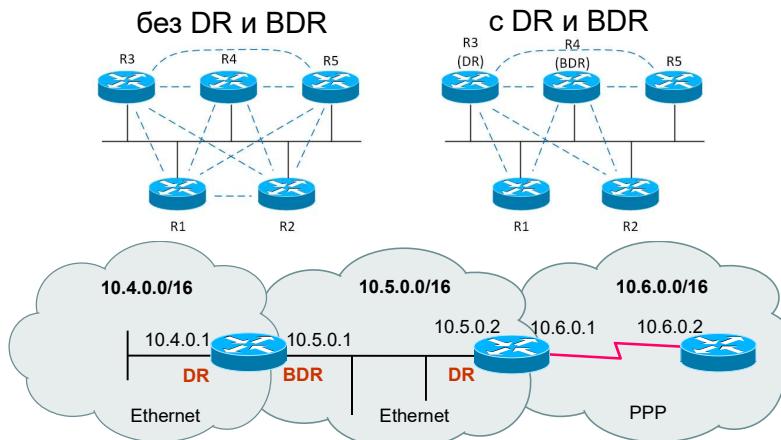
- Поддерживает балансировку нагрузки
- Поддерживает аутентификацию
- Поддерживает классовую и бесклассовую маршрутизацию (рассылка маски)
- Для улучшения масштабируемости используется иерархическая маршрутизация (разделение автономной системы на области)
- Может быть 4 типа маршрутизаторов:
 - Internal (внутренний)
 - Area Border Router – ABR (пограничный, для взаимодействия областей)
 - Backbone (маршрутизатор опорной сети)
 - Autonomous System Boundary Router – ASBR (межсетевой)

Типы маршрутизаторов OSPF



- Internal (внутренний)
- Area Border Router – ABR (пограничный, для взаимодействия областей)
- Backbone (маршрутизатор опорной сети)
- Autonomous System Boundary Router – ASBR (межсетевой)

Выбор DR и BDR



Идентификатор маршрутизатора (Router ID)

- Наибольший адрес IPv4 из настроенных интерфейсов петли обратной связи
- Наибольший IP-адрес на активном интерфейсе в момент инициализации процесса OSPF

Приоритет может иметь значение от 0 до 255 (по умолчанию = 1).
Маршрутизатор с наибольшим OSPF-приоритетом будет DR.

Этапы работы протокола OSPF

- Установление соседских отношений
- Выбор DR и BDR (при необходимости)
- Нахождение маршрутов
- Выбор маршрутов для их использования в таблице маршрутизации
- Поддержка маршрутной информации

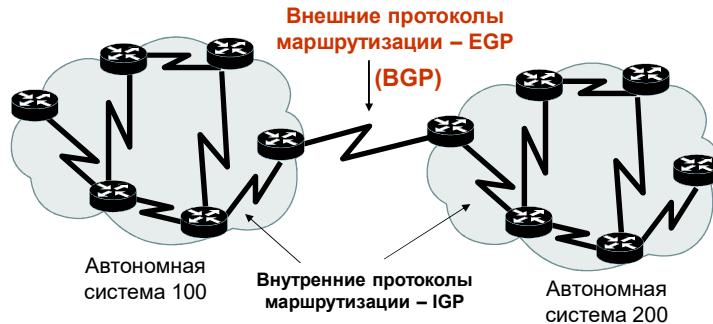
Маршрутизаторы OSPF поддерживают 3 базы данных:

- Adjacency (соседство)
- Link-State или Topological (состояния каналов или топологии сети)
- Forwarding или Routing (передачи данных или маршрутизации)

Протокол OSPF использует 2 групповых адреса:

- 224.0.0.5 (все маршрутизаторы OSPF)
- 224.0.0.6 (Designated Router – DR и Backup Designated Router – BDR)

Протокол внешней маршрутизации BGP (RFC-1771, 1772)



BGP – Border Gateway Protocol. Обеспечивает связь между автономными системами. Две системы, использующие BGP, пересылают посредством TCP полные таблицы маршрутизации. Обновления рассылаются каждые 4 с. BGP-соседи рассылают (*анонсируют, advertise*) друг другу *векторы путей (path vectors)*. Вектор путей, в отличие от вектора расстояний, содержит кроме адреса сети и расстояния до нее, ещё и список атрибутов (*path attributes*)

Атрибуты пути (Path Attributes)

ORIGIN (тип 1) – обязательный атрибут, указывающий источник информации о маршруте:
0 – IGP (информация получена от протокола внутренней маршрутизации или введена администратором),

1 – EGP (информация из протокола EGP),
2 – INCOMPLETE (информация получена другим образом, например, RIP->OSPF->BGP или BGP->OSPF->BGP).

Атрибут фактически определяет надежность источника информации (наиболее надежный ORIGIN=0).

AS_PATH (тип 2) – обязательный атрибут, содержащий список автономных систем, через которые должна пройти дейтаграмма на пути в указанную в маршруте сеть. Каждый BGP-узел при анонсировании маршрута добавляет в AS_PATH номер своей AS.

NEXT_HOP (тип 3) – обязательный атрибут, указывающий адрес следующего BGP-маршрутизатора на пути в соответствующую сеть.

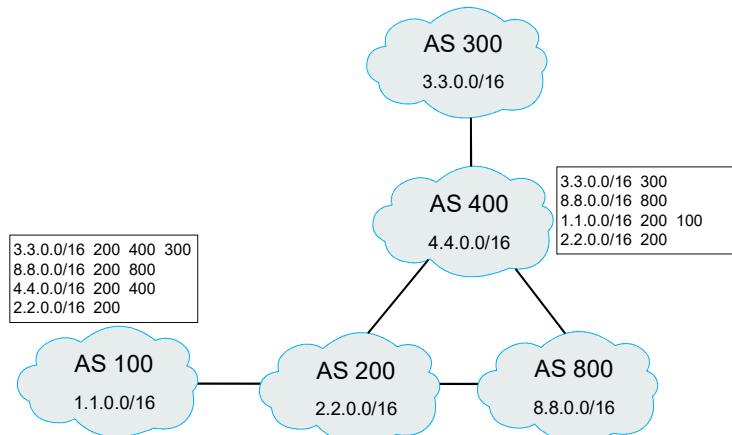
MULTI_EXIT_DISC (тип 4) – необязательный атрибут, представляющий приоритет использования объявляющего маршрутизатора для достижения через него соответствующей сети. Фактически это метрика маршрута с точки зрения анонсирующего маршрут BGP-узла.

LOCAL_PREF (тип 5) – необязательный атрибут, устанавливает для данной AS степень предпочтительности маршрута среди всех маршрутов к заявленной сети. Используется для согласованного между маршрутизаторами одной AS выбора маршрута из нескольких вариантов.

ATOMIC_AGGREGATE (тип 6) и **AGGREGATOR** (тип 7) – необязательные атрибуты, связанные с операциями объединения нескольких маршрутов в один.

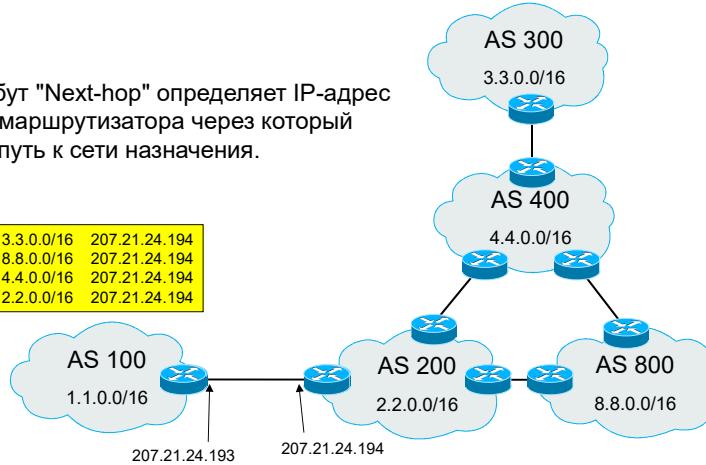
Атрибут "Autonomous system path" (AS Path)

Описывает через какие автономные системы надо пройти, чтобы дойти до сети назначения. Номер AS добавляется при передаче обновления из одной AS в другую AS (соседу).
Используется для обнаружения петель



Атрибут "Next-hop"

Атрибут "Next-hop" определяет IP-адрес BGP-маршрутизатора через который идет путь к сети назначения.



Сообщения протокола BGP

- **Open** – для установления соседских отношений
- **Update** – обновляет информацию о маршрутах (добавление/удаление)
- **Notification** – посыпается при обнаружении ошибки. После этого сообщения BGP-соединение закрывается
- **Keepalive** – для подтверждения согласия установить соседские отношения и периодического подтверждения активности соседских отношений

В протоколе три процедуры:

- Приобретение соседей
- Проверка доступности соседей
- Проверка достижимости сетей