

# Технологии организации первичных сетей

*Дисциплина «Организация систем и сетей»  
модуль 1*

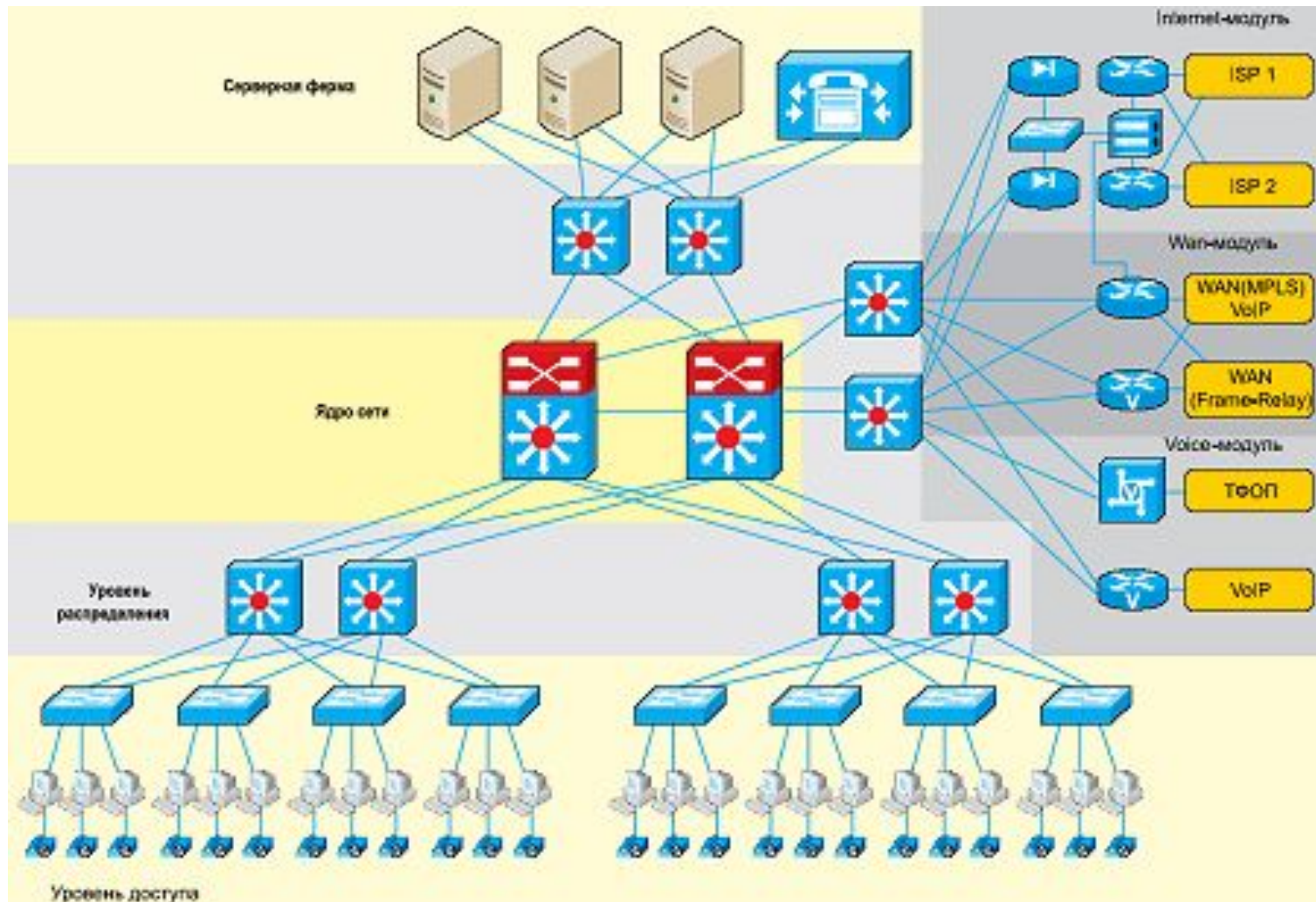
*Профессор, д.т.н. Юрий Львович Леохин*

# Структуры компьютерных сетей

Распределенные структуры

Многослойные структуры

# Распределенная структура



# Назначение уровней

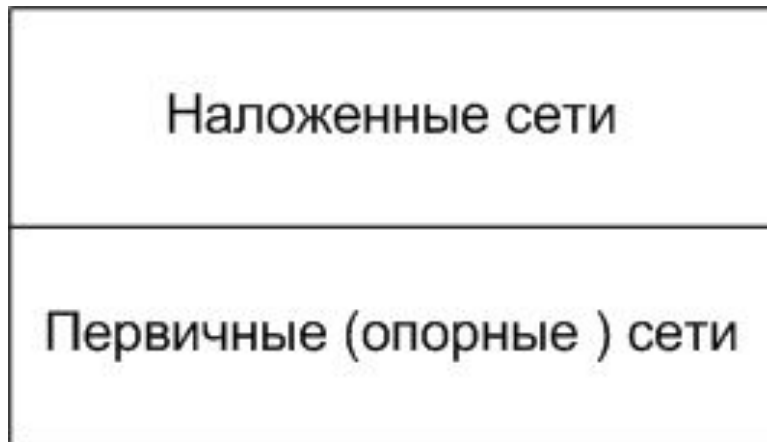
- **Уровень доступа** отвечает за подключение пользовательских устройств к сети. На этом уровне осуществляется разделение пользователей по виртуальным подсетям (VLAN), осуществляется базовая безопасность (блокирование неиспользованных портов, фильтрация mac-адресов или аутентификация 802.1x), задаются метки для приоритезации трафика (QoS classification). Через коммутаторы уровня доступа подается питание для IP-телефонов и беспроводных точек доступа (PoE). Для обеспечения отказоустойчивости соединение с уровнем распределения осуществляется по двум независимым каналам. Такая архитектура позволяет ограничить домен отказа: в случае сбоя доступ к корпоративным ресурсам не получают только пользователи одного и VLAN-ов, а остальная сеть не потеряет своей работоспособности.
- **Уровень распределения.** На этом уровне осуществляется маршрутизация между отдельными VLAN-ми, применяются политики безопасности, передача трафика осуществляется в соответствии с заданными приоритетами, работают протоколы обеспечивающие отказоустойчивость сети.
- **Уровень ядра.** Задача ядра - обеспечивать быструю и надежную коммутацию пакетов между коммутаторами уровня распределения, серверной фермой и edge-модулем.
- **Edge-модуль** отвечает за соединение корпоративной сети с внешним миром.

# Архитектура Edge-модуля

В состав Edge-модуля входят компоненты, обеспечивающие взаимодействие с различными сервис-провайдерами:

- **Модуль Internet** отвечает за соединение с сетью Internet. В этом модуле осуществляется защита сети, организуется связь с филиалами и удаленными пользователями по защищенным каналам (VPN), устанавливаются публичные сервера (Web, e-mail, DNS)
- **Модуль WAN** служит для взаимодействия между офисами и филиалами корпоративной сети. Основная задача этого модуля - обеспечить надежное соединение с гарантируемым качеством обслуживания и прогнозируемой задержкой. Это позволяет создавать распределенные корпоративные системы, поддерживающие приложения IP-телефонии, видеоконференцсвязи и т. Д.
- **Модуль Voice** обеспечивает взаимодействие корпоративной телефонной сети с сетями общего пользования. В качестве провайдеров телефонии могут выступать как традиционные операторы, так и VoIP-операторы.

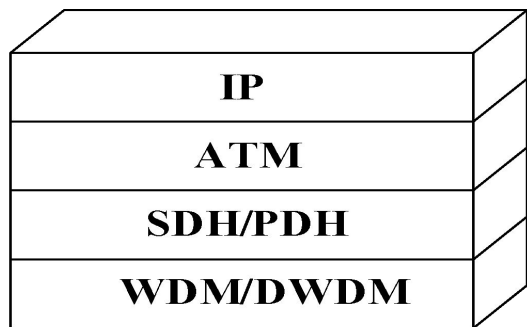
# Обобщенная многослойная структура



Предоставляют услуги конечным пользователям

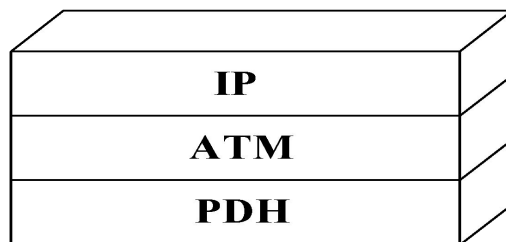
Фундамент для построения скоростных цифровых каналов

# Многослойные структуры

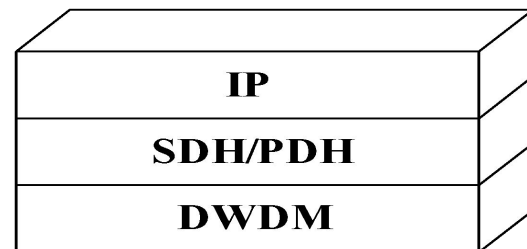


**Магистраль WAN**

*Четырехслойная  
структура  
корпоративной сети*

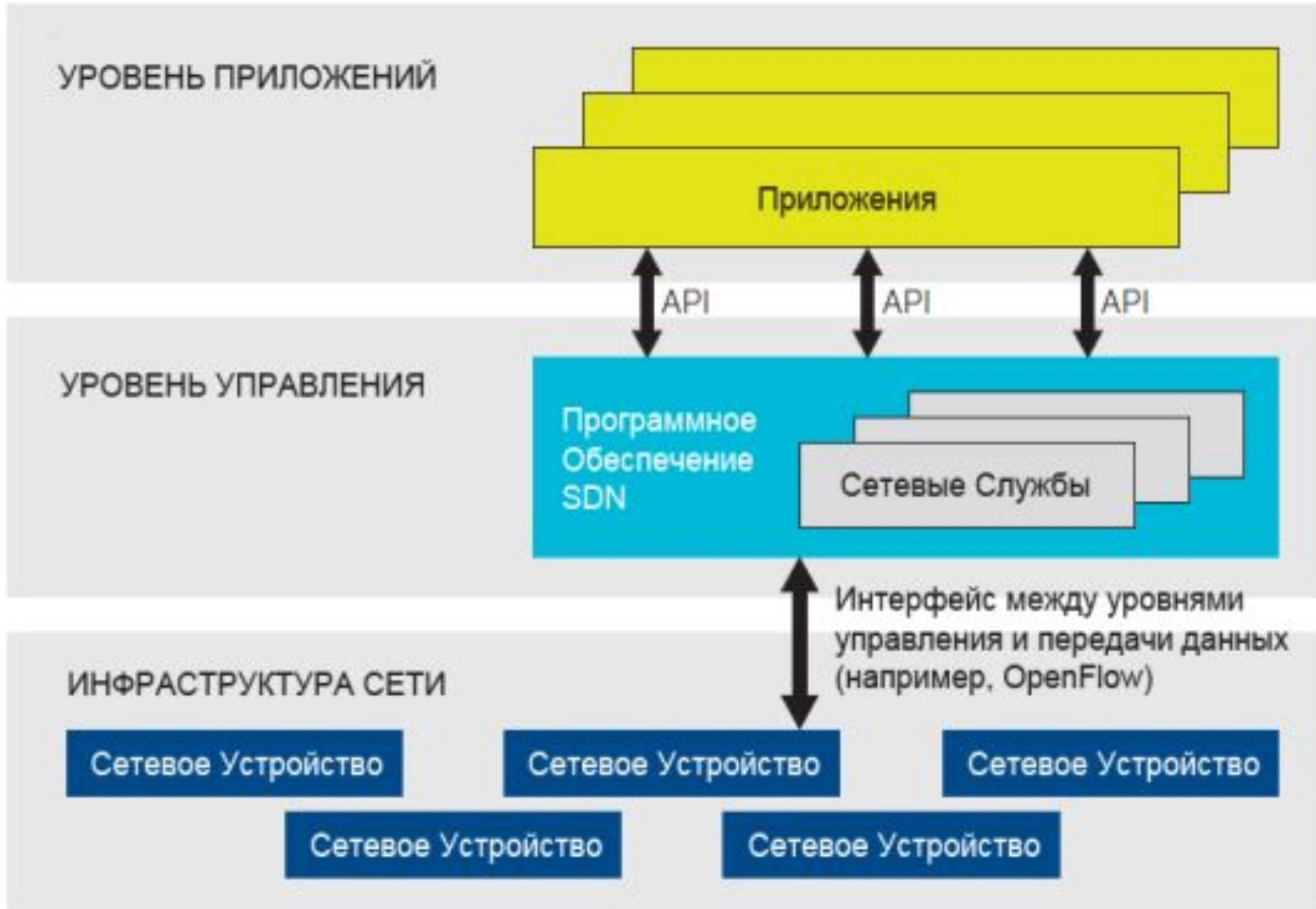


*Структура  
корпоративной сети  
средних размеров*



*Структура  
«чистой» IP-сети*

# Архитектура программно-конфигурируемой сети





## Описание структуры SDN сети

*Уровень инфраструктуры* сети включает набор устройств (коммутаторов, маршрутизаторов) и каналов передачи данных.

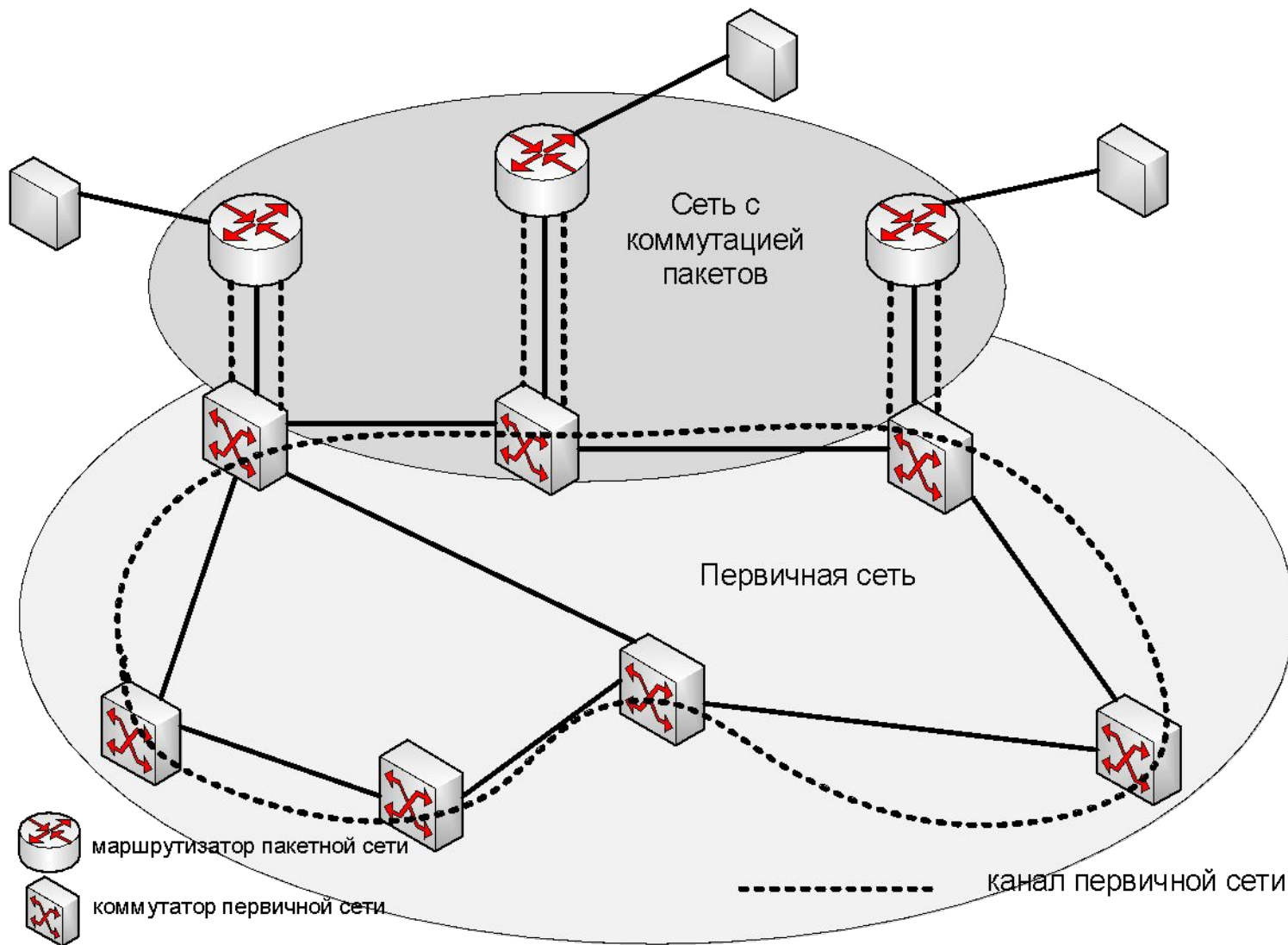
*Уровень управления* отслеживает и поддерживает глобальное представление сети, т.е. топологию сети и состояние сетевых устройств. Уровень представляет программный интерфейс (API) для сетевых приложений.

*Уровень сетевых приложений* реализует различные функции управления сетью: управление потоками данных в сетях, управление безопасностью, мониторинг трафика, управление качеством сервиса, управление политиками.

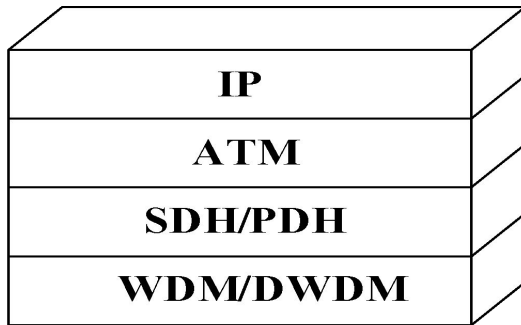
# Первичные сети

**Первичные сети (транспортные или опорные сети) – телекоммуникационные сети особого вида, предназначенные для создания глобальных высокоскоростных каналов, которые затем используются для построения других сетей (телефонных или компьютерных)**

# Архитектура первичной сети

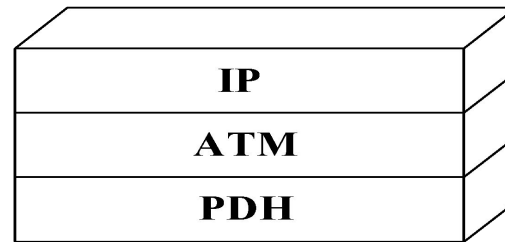


# Многослойные структуры

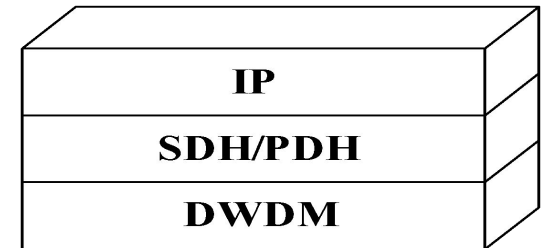


**Магистраль WAN**

*Четырехслойная  
структура  
корпоративной сети*



*Структура  
корпоративной сети  
средних размеров*



*Структура  
«чистой» IP-сети*

# Технологии первичных сетей

- *Плездохронная цифровая иерархия (PDH)*
- *Синхронная цифровая иерархия (SDH/SONET)*
- *Уплотненное волновое мультиплексирование (DWDM)*
- *Оптические транспортные сети (OTN)*

# Плездохронная цифровая иерархия (PDH)

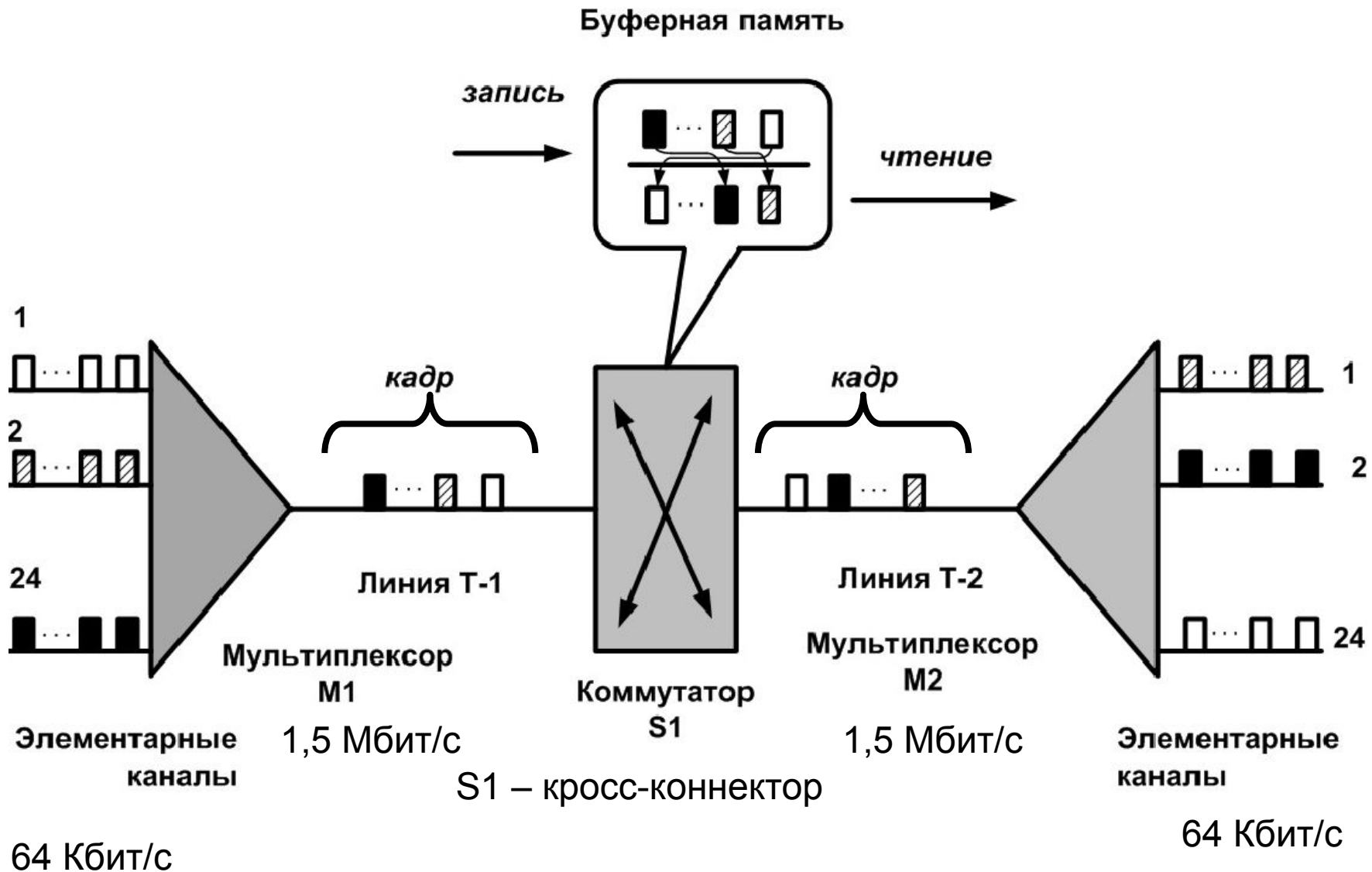
Конец 60-х годов АТ@Т разработала технологию PDH для связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой.

В оборудовании T-1 используется техника синхронного временного мультиплексирования.

Типы временного мультиплексирования (Time Division Multiplexing):

- асинхронный режим TDM (коммутация пакетов);
- синхронный режим TDM (коммутация каналов).

# Коммутация каналов в сети PDH



# Иерархия цифровых скоростей:

Америка				ITU-T(Европа)		
Обозначение скорости	Кол-во цифровых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость , Мбит/с	Кол-во голосовых каналов	Кол-во каналов предыдущего уровня	Скорость , Мбит/с
DS-0	1	1	64	1	1	64
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	6,312	120	4	8,488
DS-3	672	7	44,736	480	4	34,368
DS-4	4032	6	274,176	1920	4	139,264



# Недостатки технологии (PDH):

- сложность и неэффективность операций мультиплексирования и демultipлексирования пользовательских данных;
- отсутствие в PDH средств обеспечения отказоустойчивости;
- недостаточная производительность даже на верхнем уровне иерархии скоростей.

# Сети SONET/SDH

(Synchronous Optical NET – синхронные оптические сети/  
Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия)

Первый стандарт появился в 1984 г. Задачи разработки SONET:

- передача трафика всех существующих цифровых каналов PDH (Т1-Т3, Е1-Е3);
- повышение скорости каналов;
- обеспечение иерархии скоростей до скорости в несколько гигабит в секунду.

Совместная работа ITU-T (сектор телекоммуникационной стандартизации международного телекоммуникационного союза ITU и ETSI (Европейский институт телекоммуникационных стандартов) позволила подготовить международный стандарт SDH.

## Иерархия скоростей

SDH	SONET	Скорости
	STS-1, OC-1	51,84 Мбит/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мбит/с
STM-3	OC-9	466,560 Мбит/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбит/с
STM-6	OC18	933,120 Мбит/с
STM-8	OC-24	1,244 Гбит/с
STM-12	OC-36	1,866 Гбит/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбит/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбит/с
STM-256	OC-768	39,81 Гбит/с

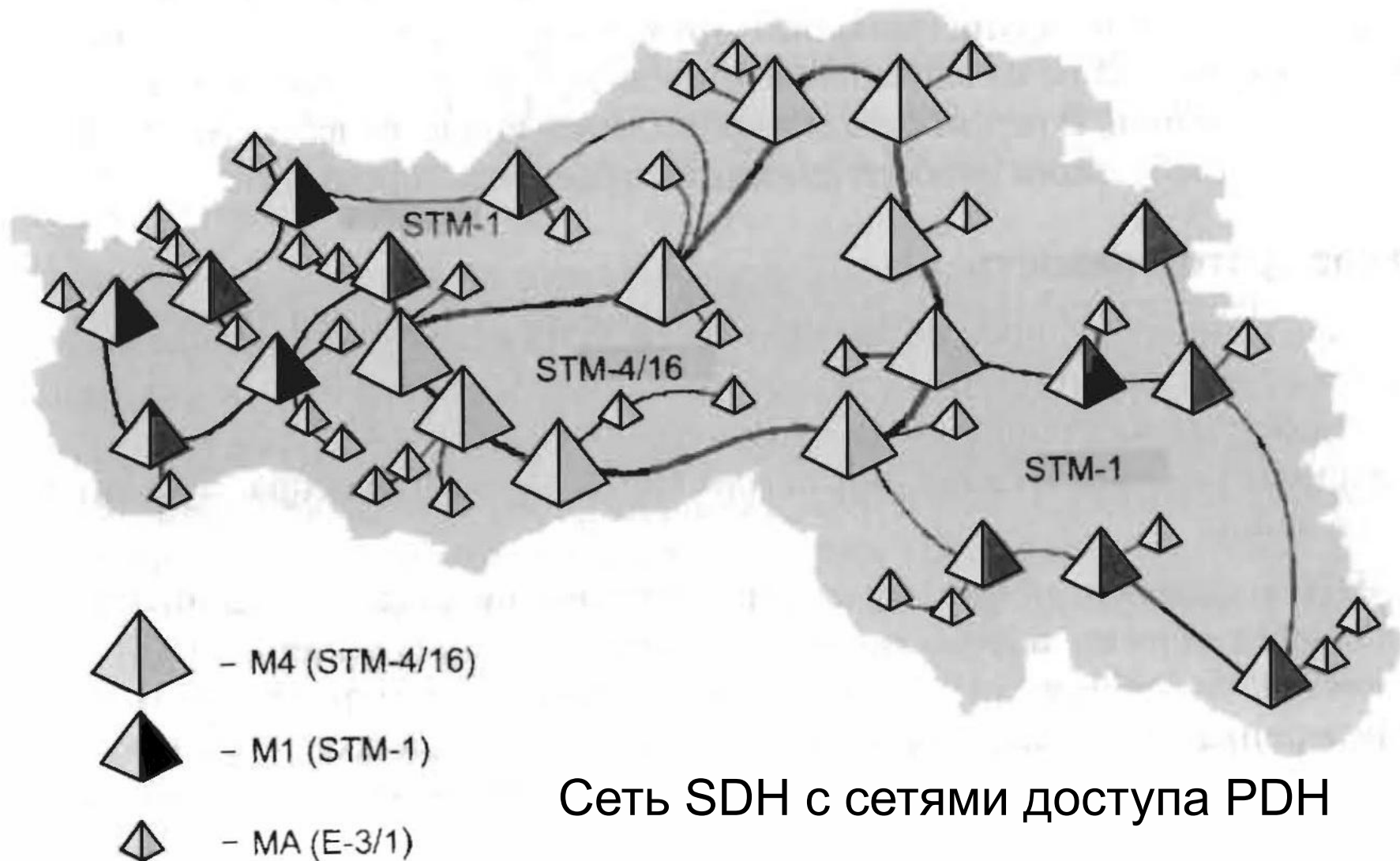
STM-N - синхронный транспортный модуль уровня N

STS-N - синхронный транспортный сигнал уровня N

OC-N - оптоволоконная линия связи уровня N

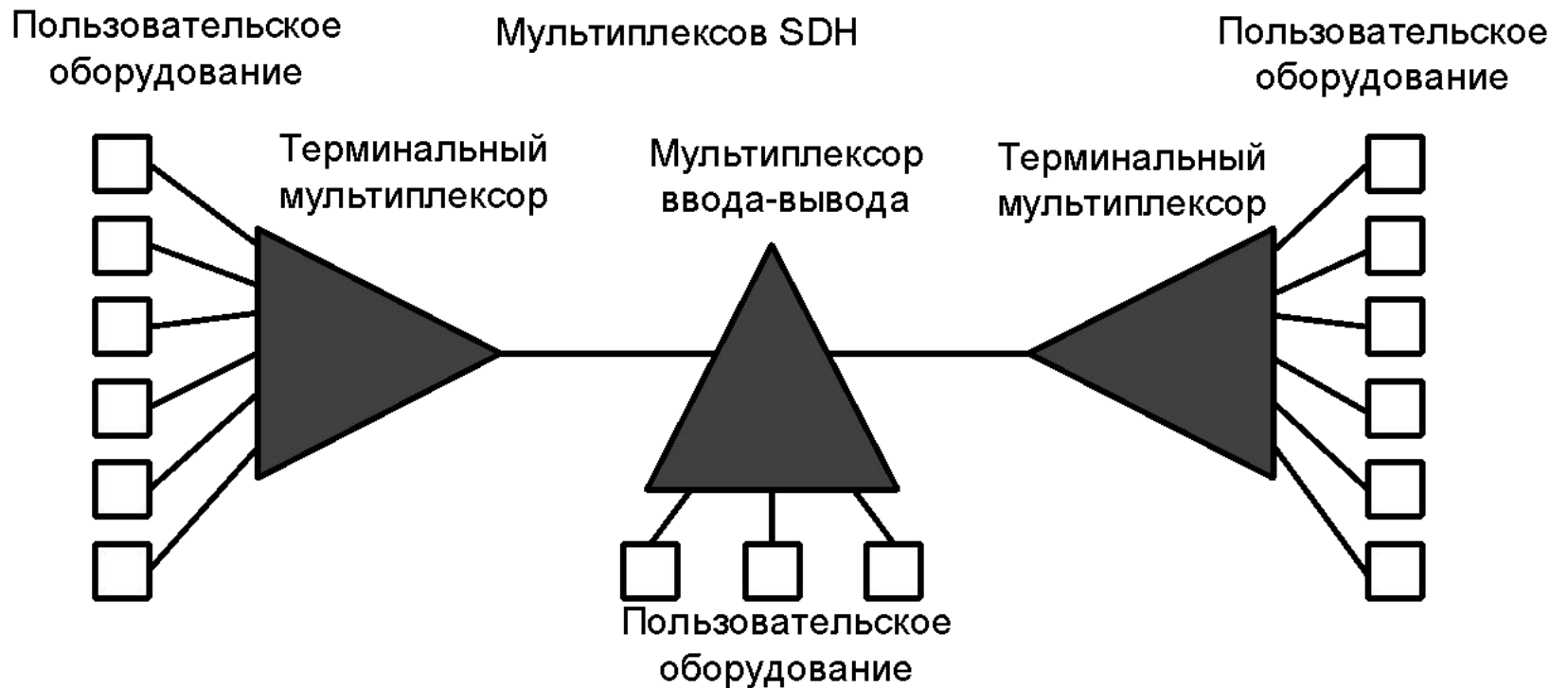
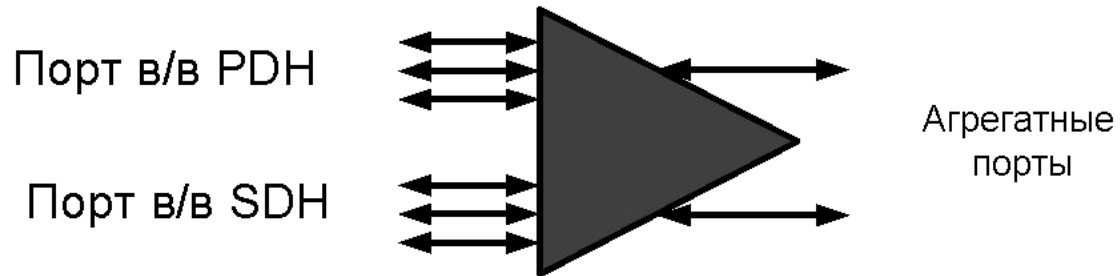
# Сети SONET/SDH

(Synchronous Optical NET – синхронные оптические сети/  
Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия)



Сеть SDH с сетями доступа PDH

# Типы оборудования



## Типовые топологии

1. Кольцо SDH. Образовано из мультиплексоров ввода-вывода
2. Цепь. Линейная последовательность мультиплексоров. Состоит из двух оконечных терминальных мультиплексоров, остальные-промежуточные мультиплексоры ввода-вывода.
3. Плоское кольцо
4. Ячеистая топология.

# Синхронизация

Мультиплексоры SDH требуют **очень точной взаимной синхронизации**.

Синхронизация обеспечивается одним или несколькими **внешними эталонными атомными часами**, снабжающими своими синхроимпульсами магистральные сети SDH.

Мультиплексоры SDH более низких уровней извлекают **синхроимпульсы из заголовков кадров**, поступающих от магистральных мультиплексоров.

## Отказоустойчивость

(автоматическое защитное переключение – Automatic Protection Switching APS)

1. Защита сетевого соединения.
2. Защита на основе разделения кольца.

### Схемы защиты:

*Защита 1+1*

*Защита 1:1*

*Защита 1: N*



# Сеть DWDM (технология уплотнения волнового мультиплексирования)

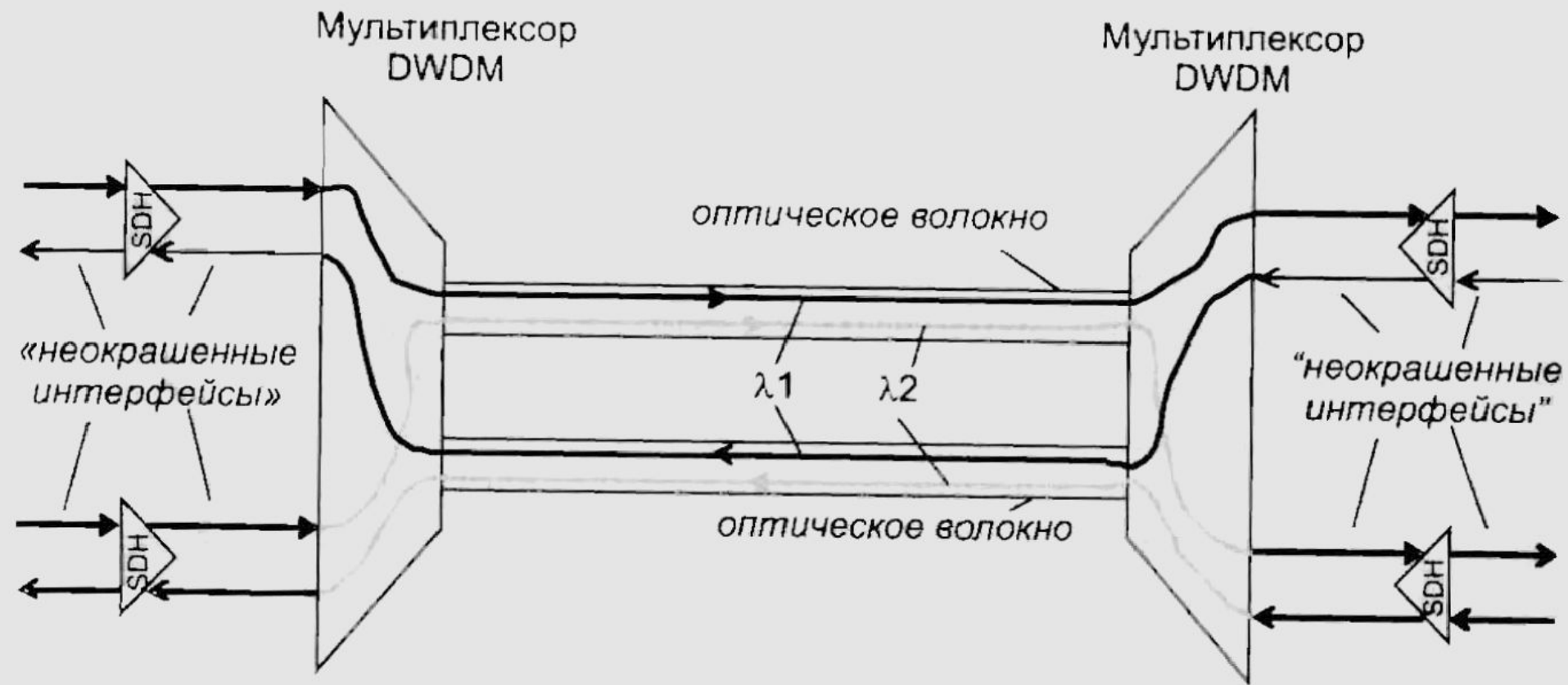
Технология **DWDM** предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях.

Сети **DWDM** работают по принципу **коммутации каналов**. Каждая световая волна **лямбда** представляет собой спектральный канал и несет собственную информацию.

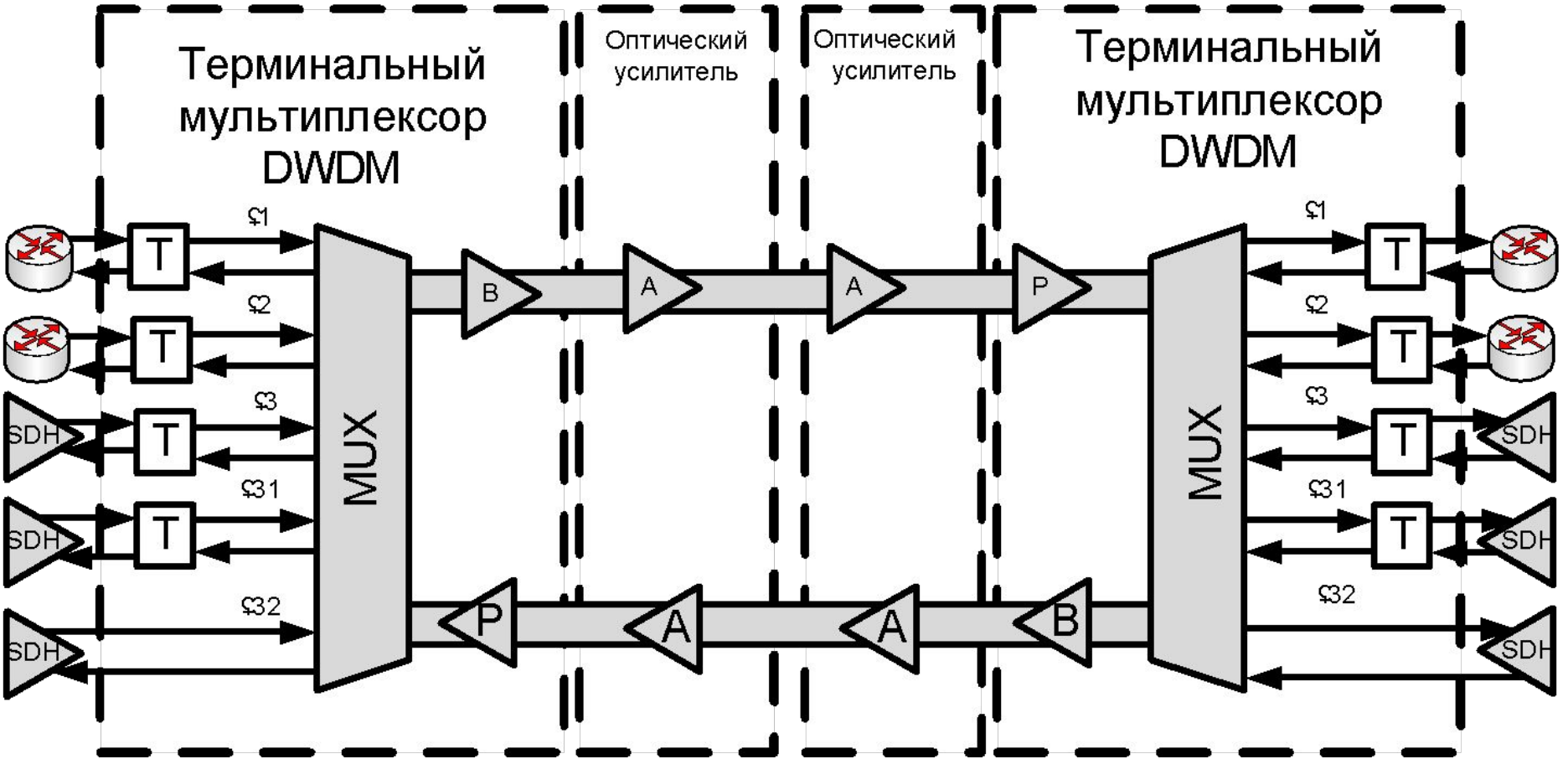
Оборудования **DWDM** выполняет функции **мультиплексирования** (объединения различных волн в одном световом пучке) и **демультиплексирования** (выделение информации каждого спектрального канала из общего сигнала), **коммутации** волны.

Оборудование позволяет передавать по одному оптическому волокну 32 и более волн разной длины со скоростью до 10Гбит/с, а в будущем – до 40-80 Гбит/с.

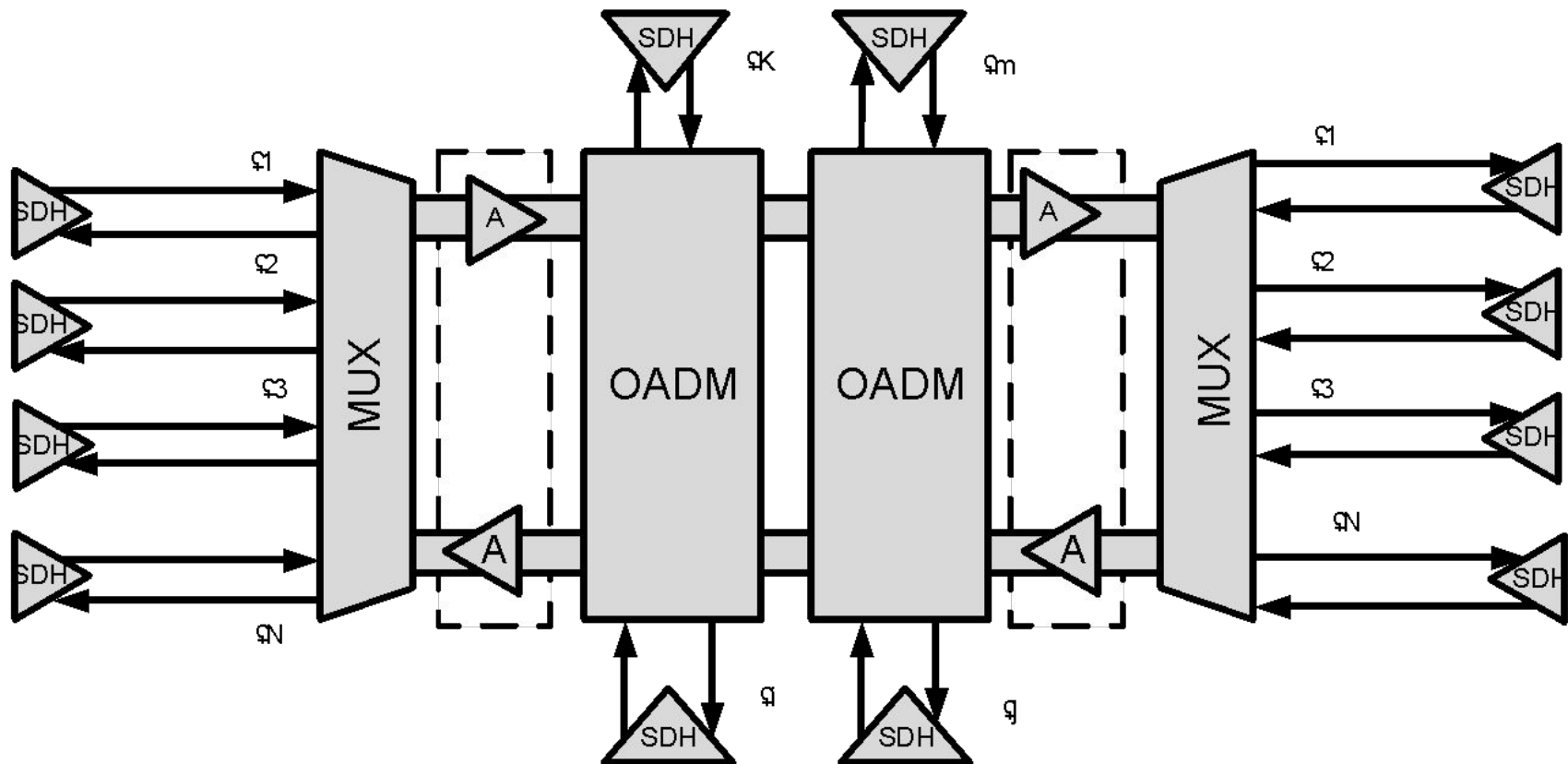
# Сеть DWDM (технология уплотнения волнового мультиплексирования)



# Типовые топологии. Сверхдальняя двухточечная связь на основе терминальных мультиплексоров DWDM (двухточечная цепь).



# Типовые топологии. Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах (цепь с промежуточным подключением).

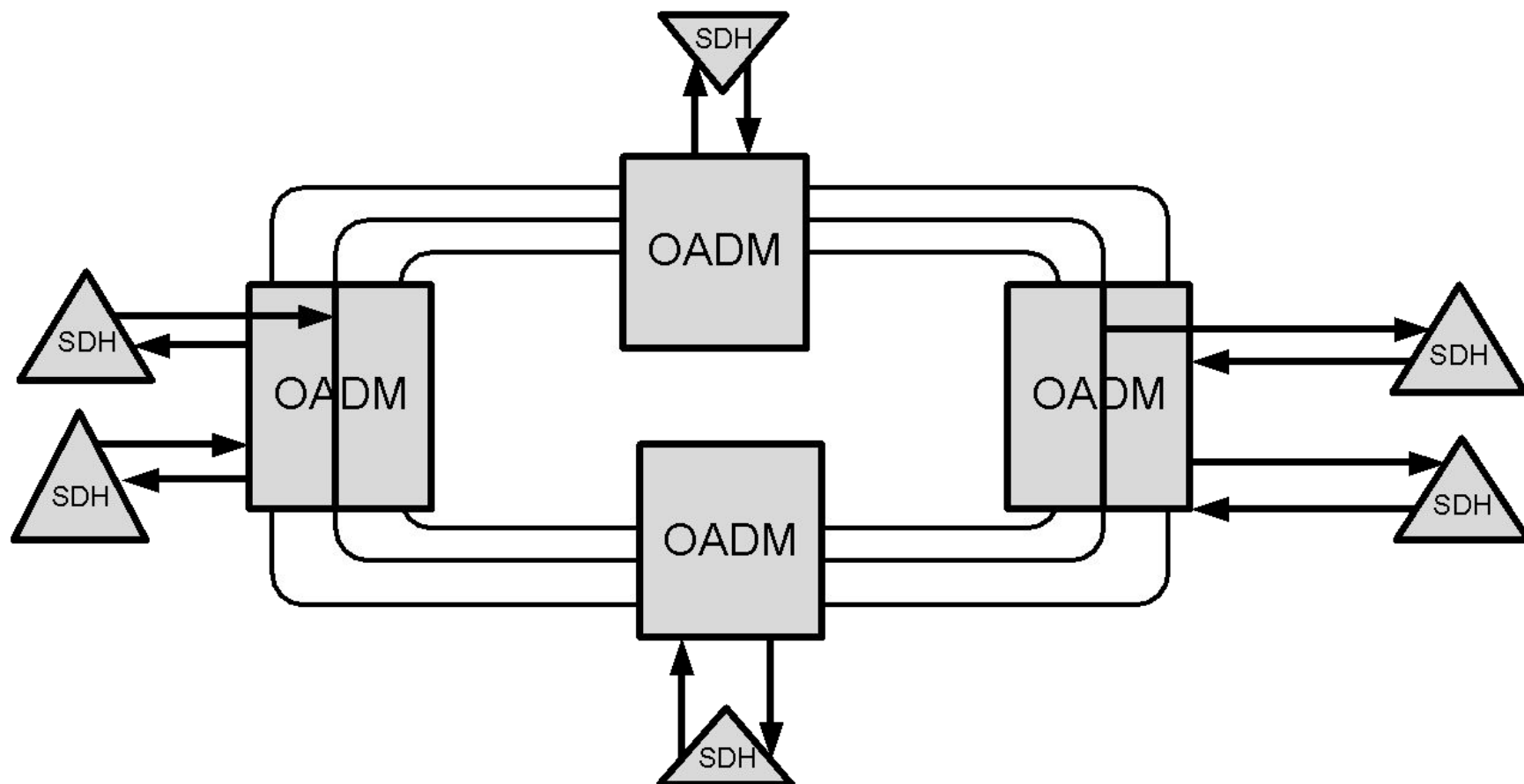


SDH – мультиплексор SDH

MUX – терминальные мультиплексоры DWDM

OADM – оптические мультиплексоры ввода-вывода

## Типовые топологии. Кольцо мультиплексов DWDM.



SDH – мультиплексор SDH

OADM – оптические мультиплексоры ввода-вывода

# Оптические мультиплексоры ввода/вывода (OADM)

В сетях DWDM используются пассивные (без электропитания и активного преобразования) и активные мультиплексоры-демультиплексоры.

## Пассивные мультиплексоры

Число выводимых световых волн невелико

Позволяет выводить и вводить сигнал одной световой волны без изменения спектра общего светового пучка

Вносят дополнительное затухание

Обладает бюджетной стоимостью

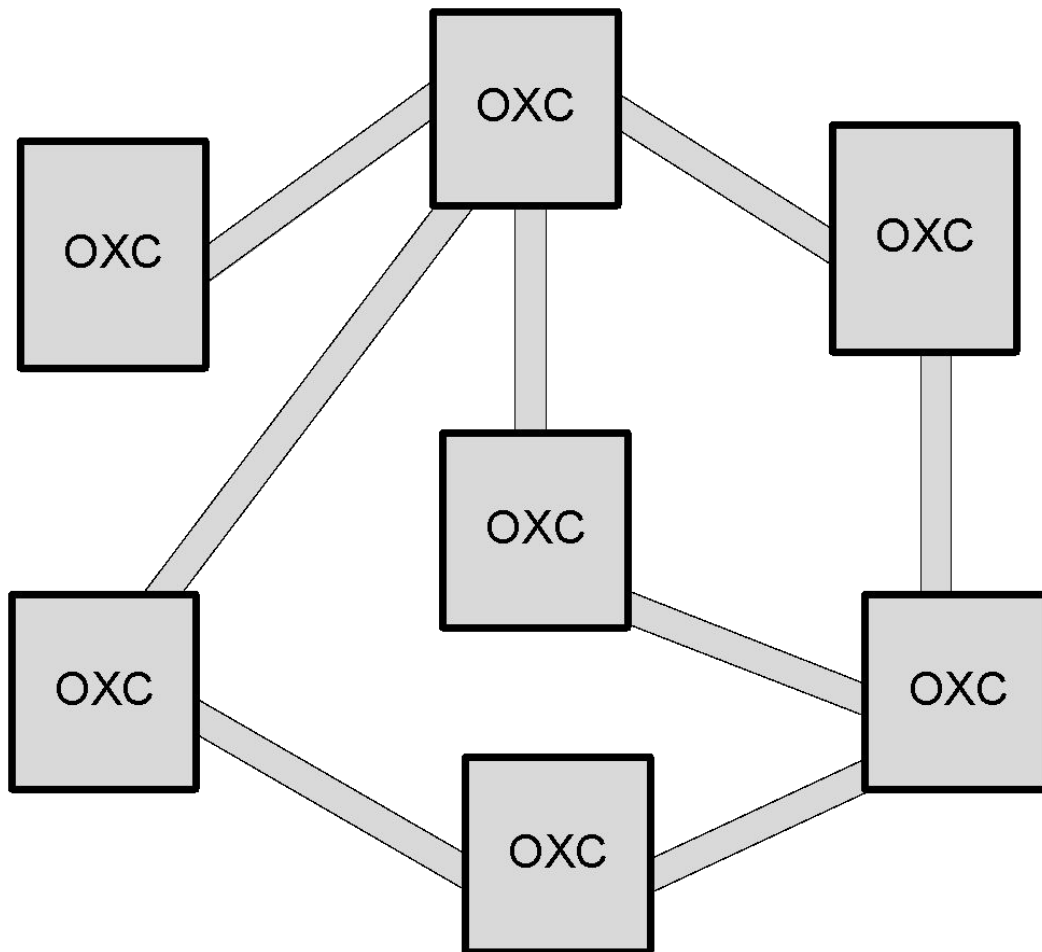
## Активные мультиплексоры

Число световых волн ограничено применяемым частотным планом и набором световых волн

Не вносит дополнительного затухания, поскольку производит полное демультиплексирование всех каналов и преобразование в электрическую форму

Обладает высокой стоимостью

## Типовые топологии. Ячеистая топология сети DWDM.

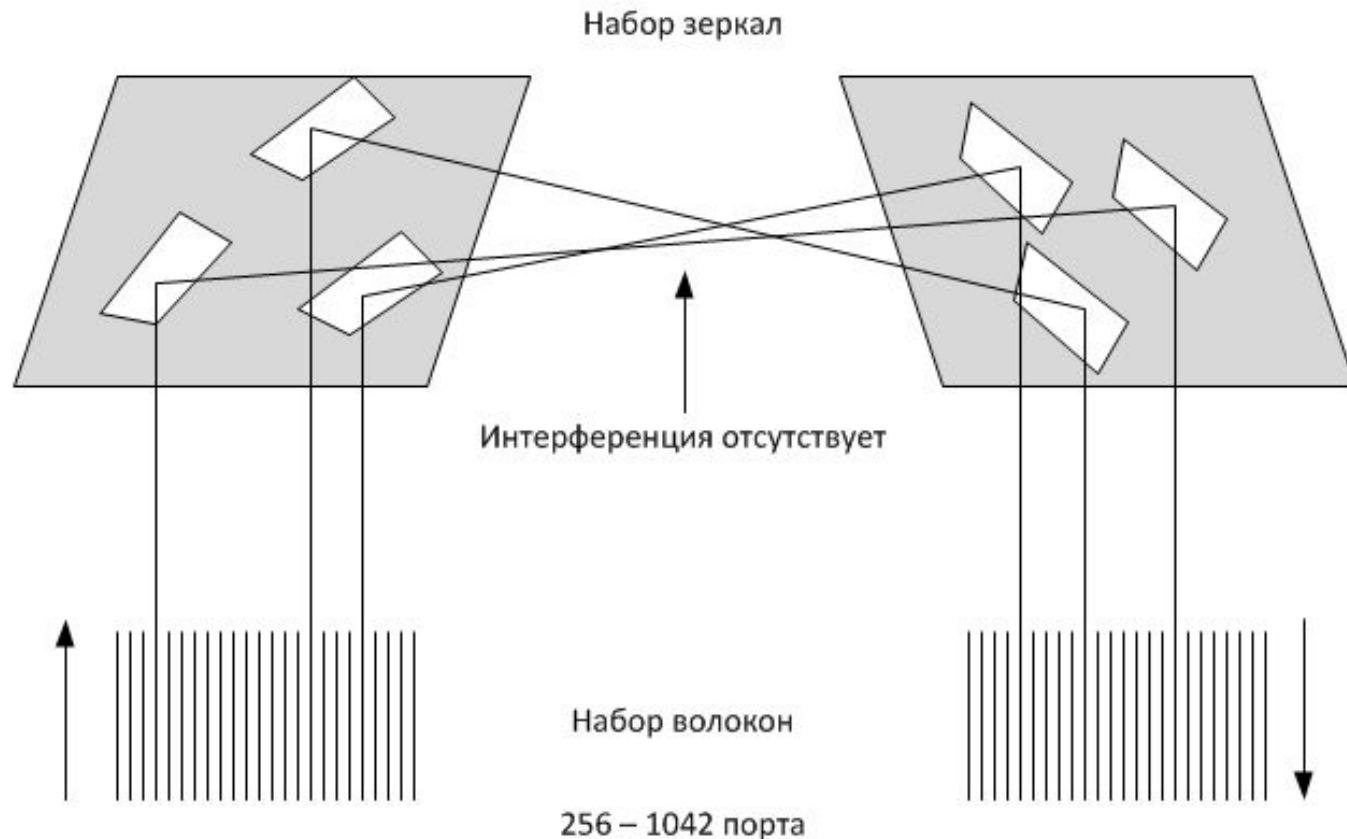


Преимущества:  
обеспечивает лучшие  
показатели гибкости,  
производительности и  
отказоустойчивости.

ОХС – оптические кросс-коннекторы

# Оптические кросс-коннекторы

оптоэлектронные кросс-коннекторы;  
полностью оптические кросс-коннекторы или фотонные  
коммутаторы



**Микроэлектронные механические системы (MicroElectro Mechanical System, MEMS)**



# Сеть OTN

## (технология оптических транспортных сетей – Optical Transport Networks)

Недостаток DWDM: DWDM передает данные кадрами SDH.

OTN ориентирована на магистральные сети.

### *Иерархия скоростей OTN*

<b>Интерфейс G.709</b>	<b>Битовая скорость</b>	<b>Соответствующий уровень SDH</b>	<b>Информационная скорость, Гбит/с</b>
OTU1	2,666	STM-16	2,488
OTU2	10,709	STM-64	9,953
OTU3	43,018	STM-256	39,813

OTUn – (Optical Transport Unit level n) транспортный блок оптического канала уровня n

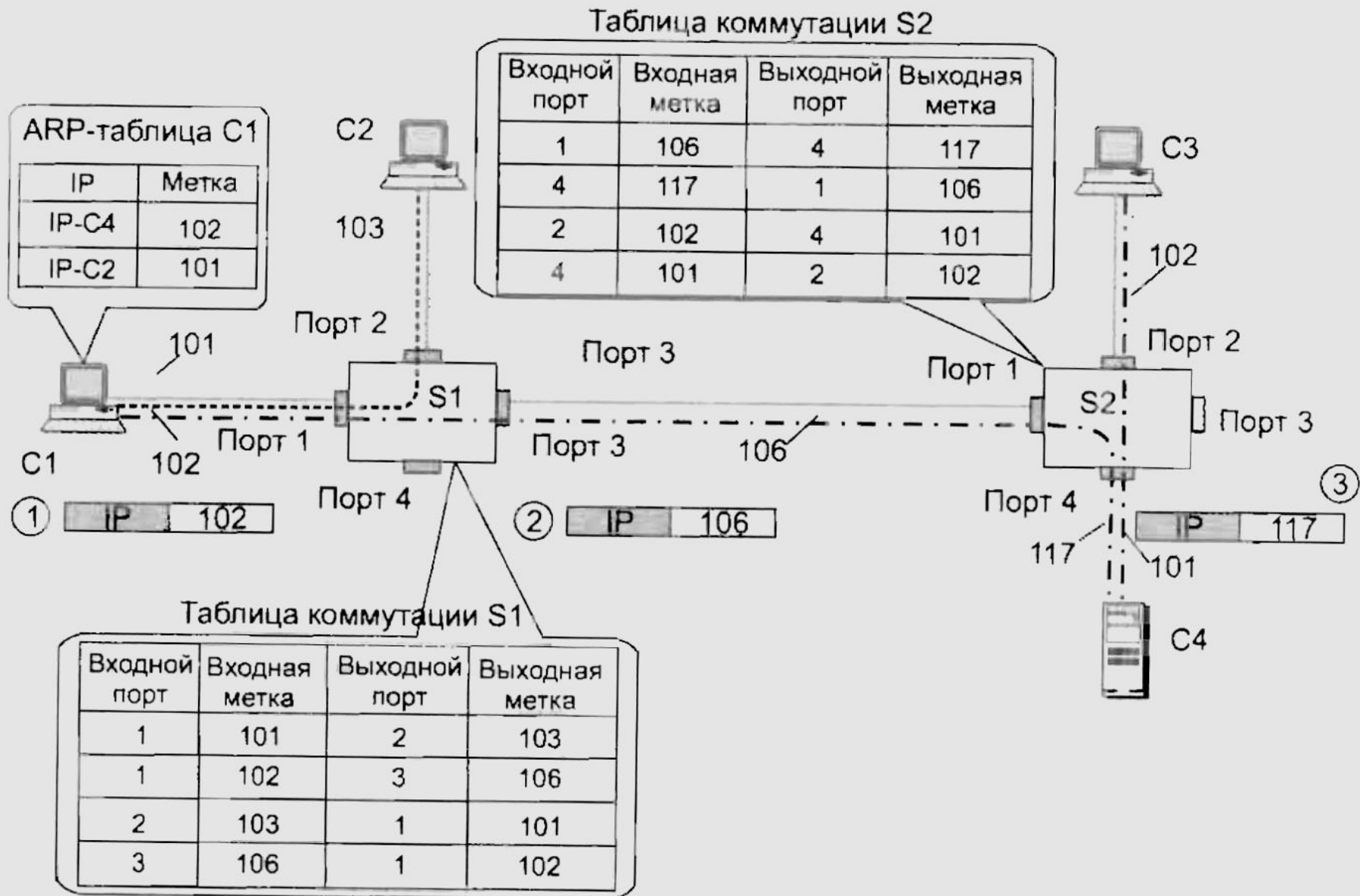
# Технология Frame Relay

Frame Relay – пакетная технология глобальных сетей. Появилась в конце 80-х годов в связи с распространением надежных и скоростных каналов технологий PDH и SDH.

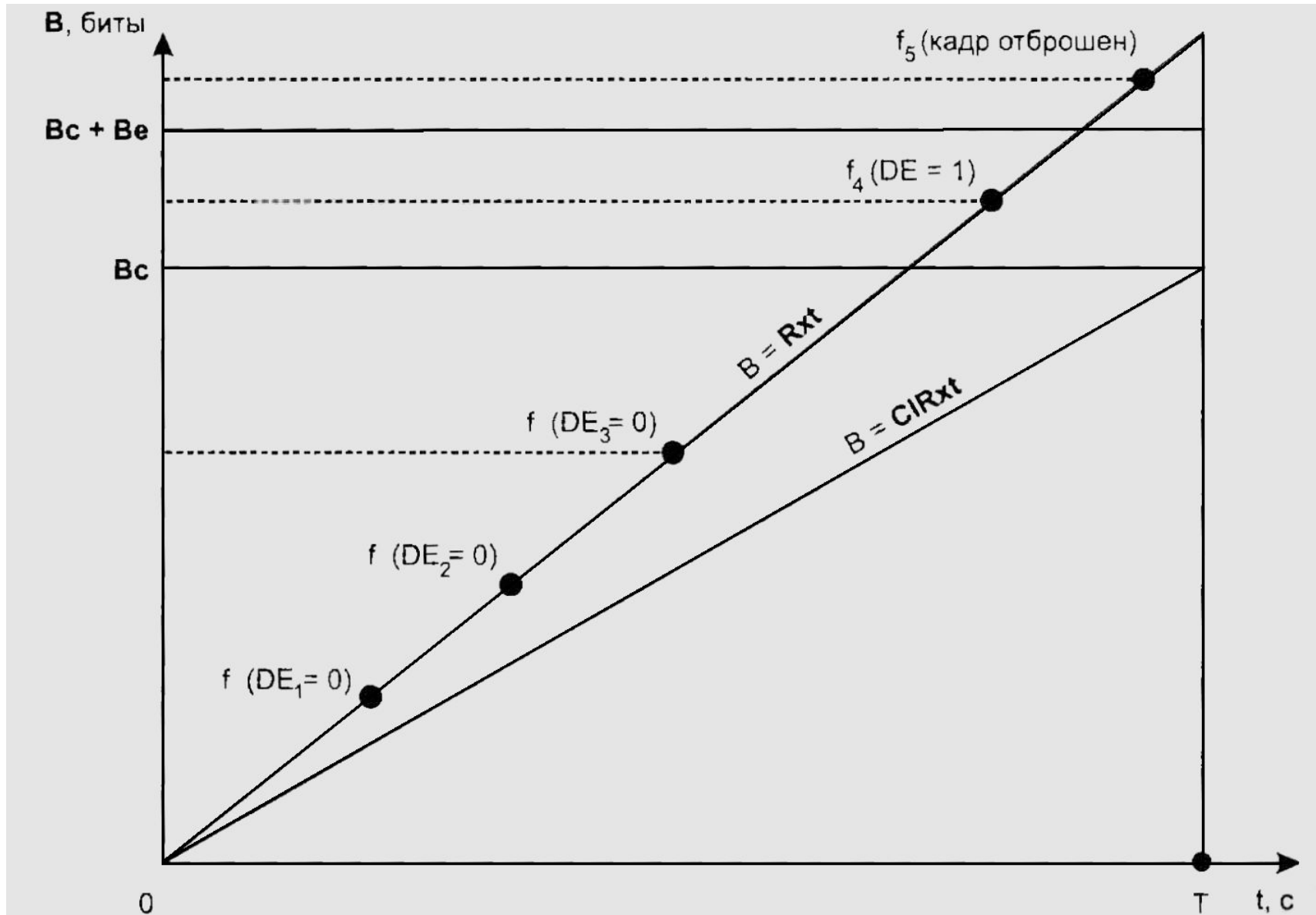
## ***Достоинства FR:***

- простота, заключающаяся в минимальном наборе услуг по доставке кадров адресату;
- гарантированная пропускная способность сетевых соединений.

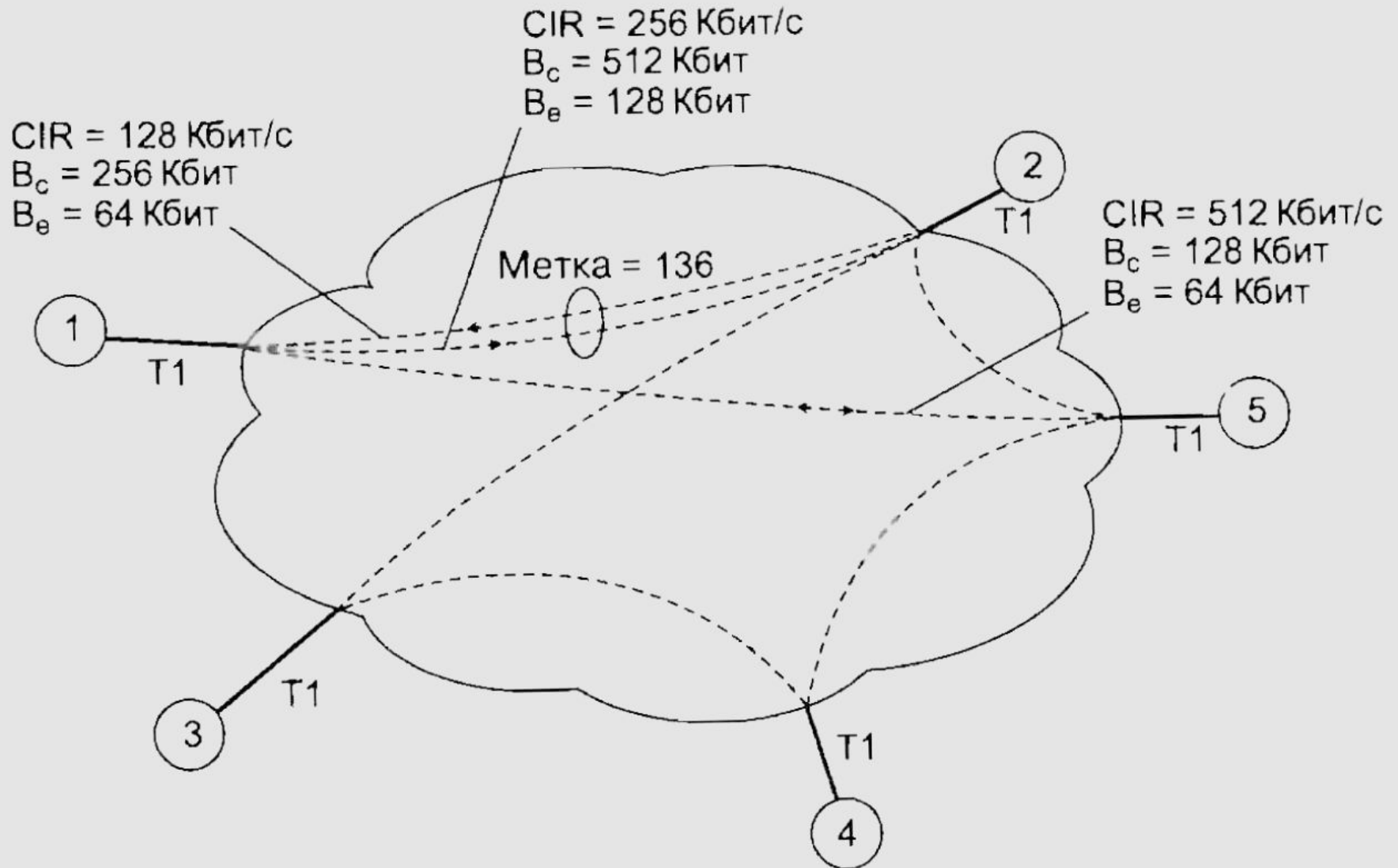
# Техника продвижения кадров вдоль виртуальных каналов



# Реакция сети на поведение пользователя



## Пример обслуживания в сети Frame Relay



# Технология АТМ (асинхронный режим передачи – Asynchronous Transfer Mode)

**АТМ** – технология, ориентированная на установлении виртуальных каналов и предназначенная для использования в качестве единого универсального транспорта нового поколения сетей с интегрированным обслуживанием.

**Интегрированное обслуживание** – способность сети передавать трафик разного типа: чувствительный к задержкам трафик и эластичный трафик, допускающий задержки в широких пределах.

Для соединения коммутаторов АТМ могут использоваться первичные сети SDH. Поэтому производители оборудования АТМ ограничились первыми двумя уровнями скоростей SDH (155 Мбит/с STM-1, 622 Мбит/с STM-4).

# Ячейки АТМ

**Ячейки АТМ** имеют фиксированный небольшой размер: поле данных 48 байт и поле заголовка 5 байт.

Параметры качества обслуживания (QoS):

- задержка доставки пакета (не более 150 мс для голоса);
- вариация задержки доставки пакета (не более 80-100 мс для голоса);
- доля потерь пакетов в очередях (менее 1%).

# Классы трафика

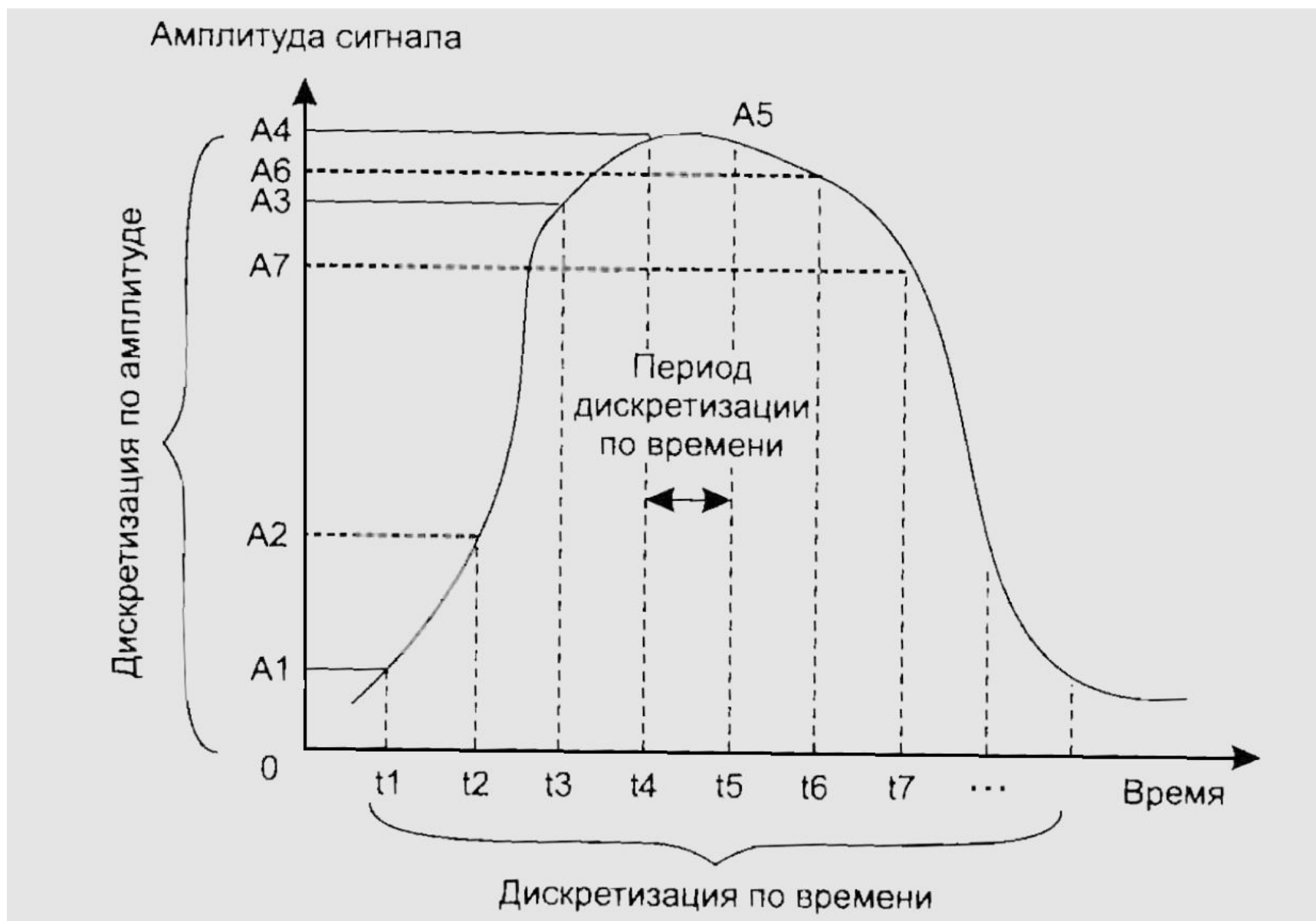




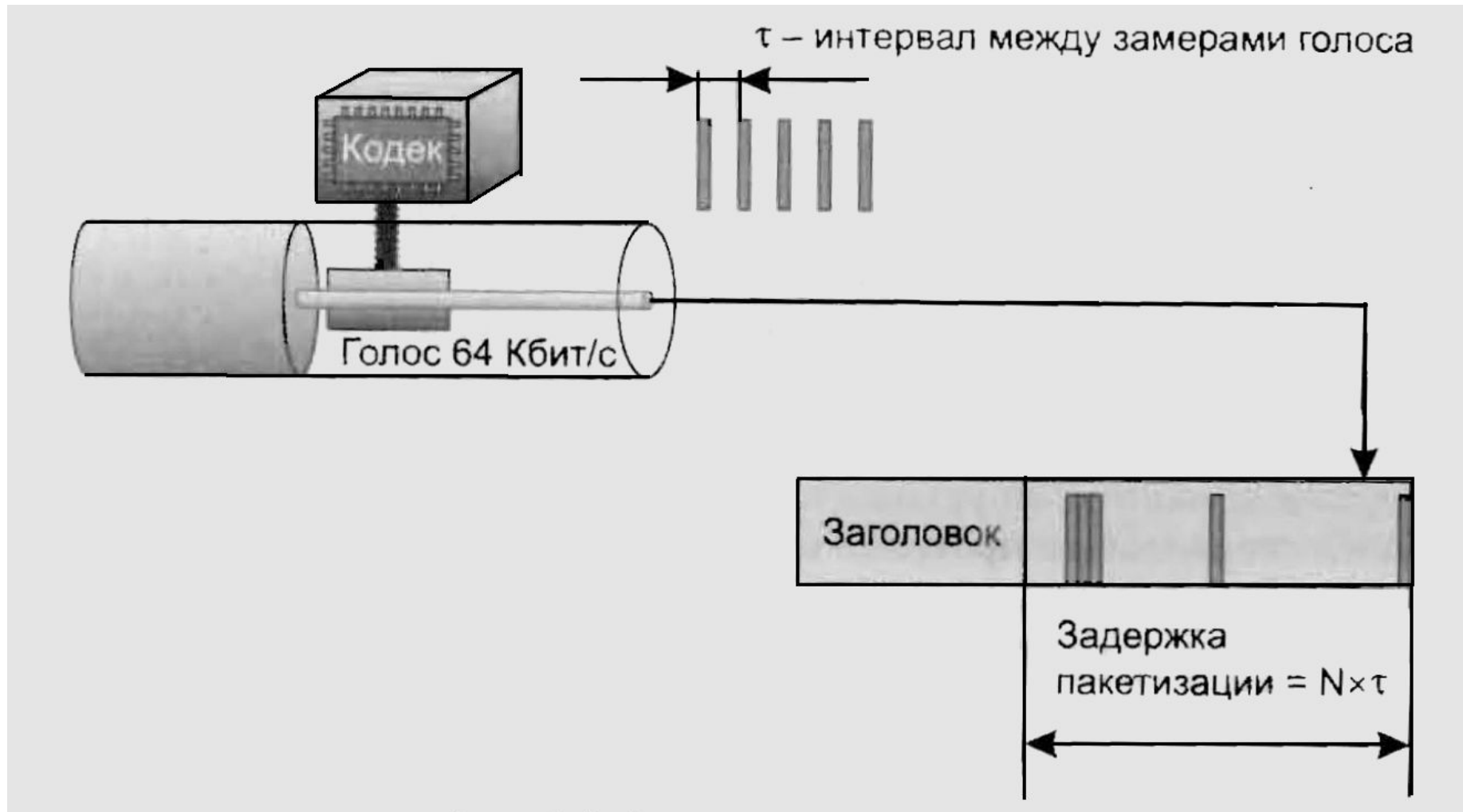
# Классы трафика АТМ

Класс трафика	Характеристика
А	Постоянная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения. Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, задержка, джиттер. Пример трафика: голосовой трафик, трафик телевизионного изображения.
В	Переменная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения. Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных, задержка, джиттер. Пример трафика: компрессионный голос, компрессионное видеоизображение.
С	Переменная битовая скорость, эластичность, передача с установлением соединения. Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных. Пример трафика: трафик компьютерных сетей с использованием протоколов FR, X.25, TCP.
L	Переменная битовая скорость, эластичность, передача без установления соединения. Параметры QoS не определены. Пример трафика: трафик компьютерных сетей с использованием протоколов IP/UDP, Ethernet.
X	Тип трафика и его параметры определяются пользователем.

# Дискретная модуляция непрерывного процесса



# Задержка пакетизации



# Виртуальные каналы АТМ

- постоянный виртуальный канал (Permanent Virtual Circuits, PVC);
- коммутируемый виртуальный канал (Switched Virtual Circuits, SVC).

# Категории услуг АТМ

- CBR (Constant Bit Rate) – для трафика с постоянной битовой скоростью (голосового);
- rtVBR (real-time Variable Bit Rate) – для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи и синхронизации источника и приемника (видео трафик с переменной битовой скоростью);
- nrtVBR (non real-time Variable Bit Rate) – для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;
- ABR (Available Bit Rate) – для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи данных и не требующего синхронизации приемника и источника;
- UBR (Unspecified Bit Rate) – для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника.

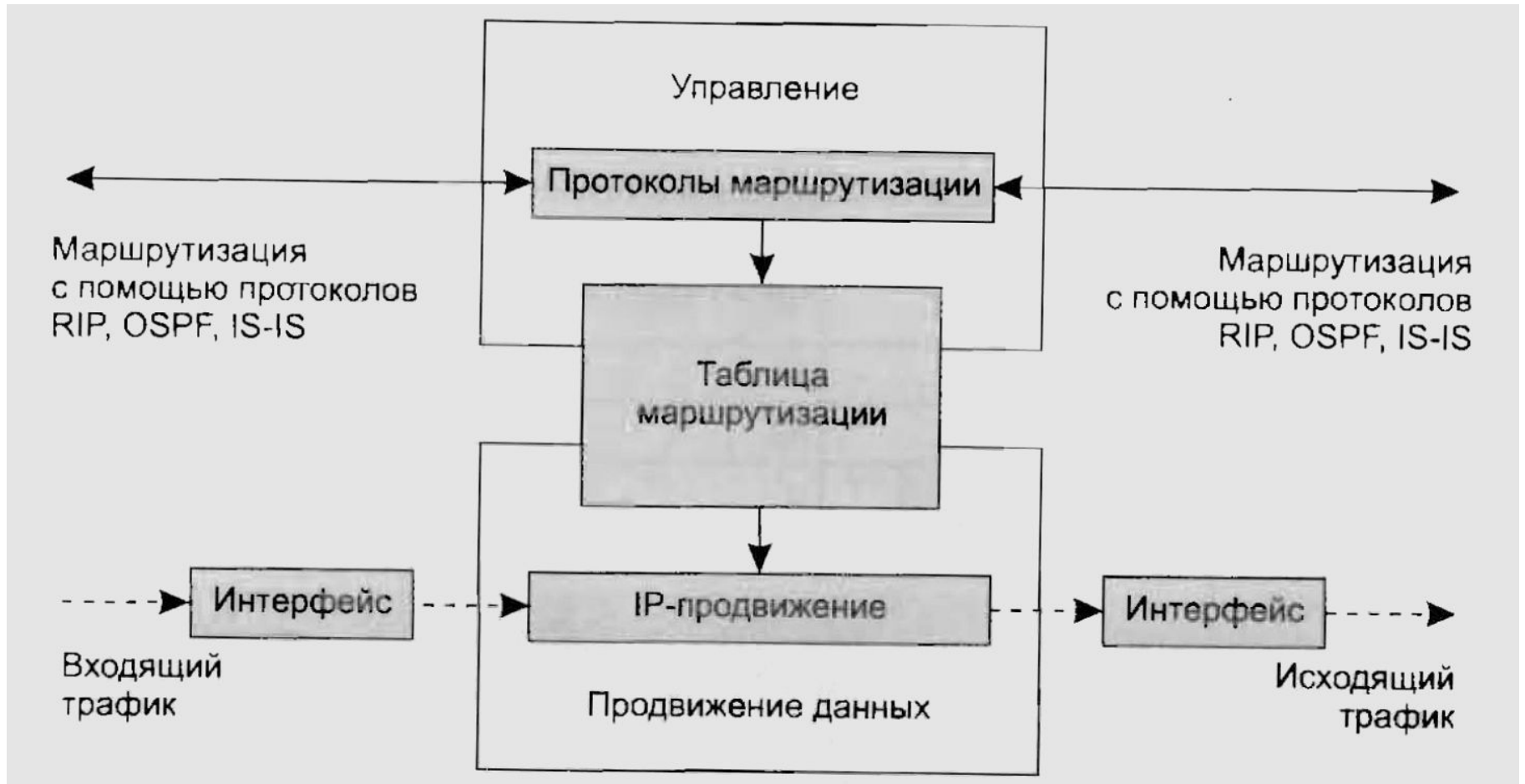
# Технология MPLS – многопротокольная коммутация с помощью меток (Multi-Protocol Label Switching)

Технология объединяет преимущества техника виртуальных каналов с функциональностью стека TCP/IP.

Объединение происходит с помощью коммутирующего по меткам маршрутизатора (Label Switch Router, LSR).

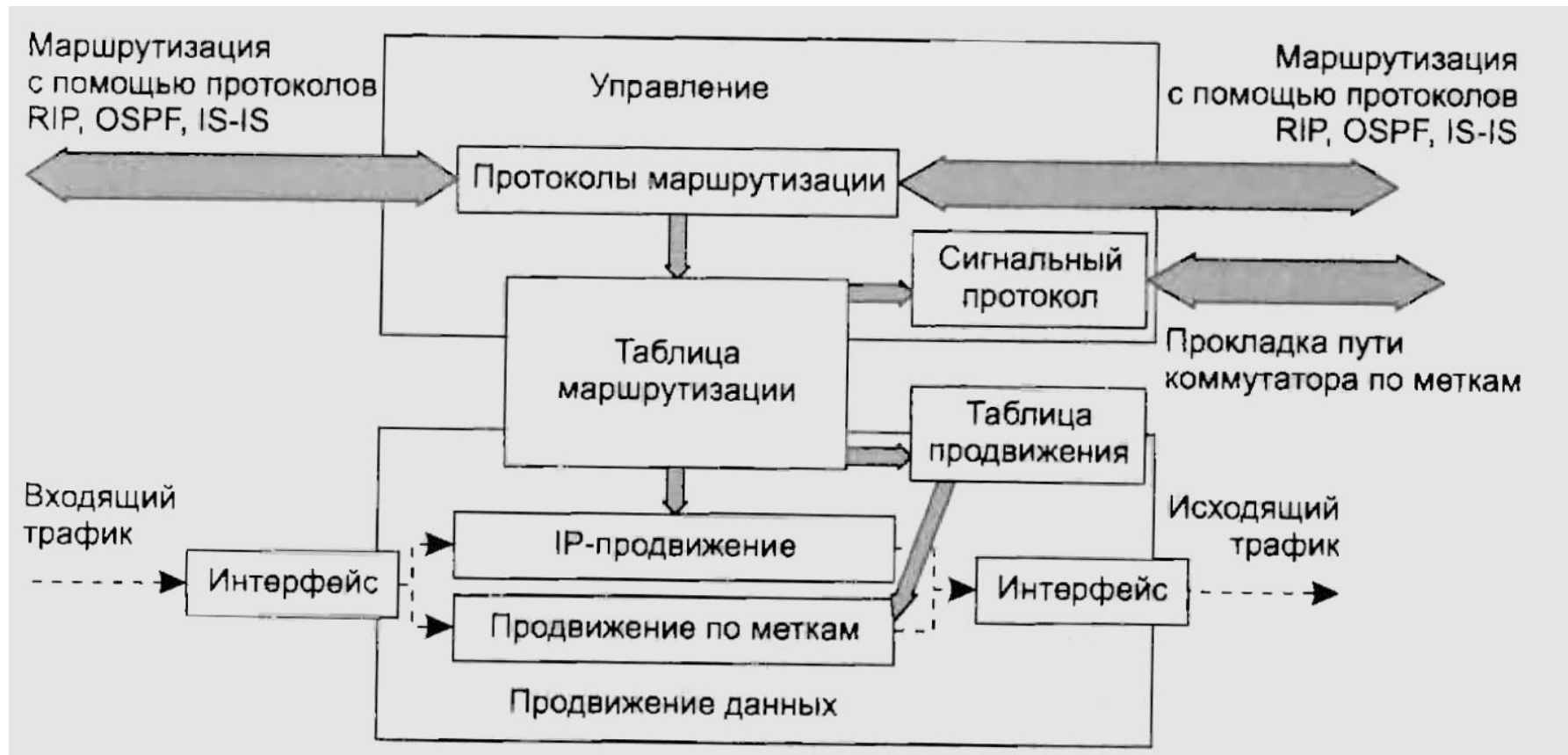
LSR выполняет функции IP-маршрутизатора и коммутатора виртуальных каналов.

# LSR и таблица продвижения данных



Архитектура IP-маршрутизатора

# LSR и таблица продвижения данных



Архитектура LSR



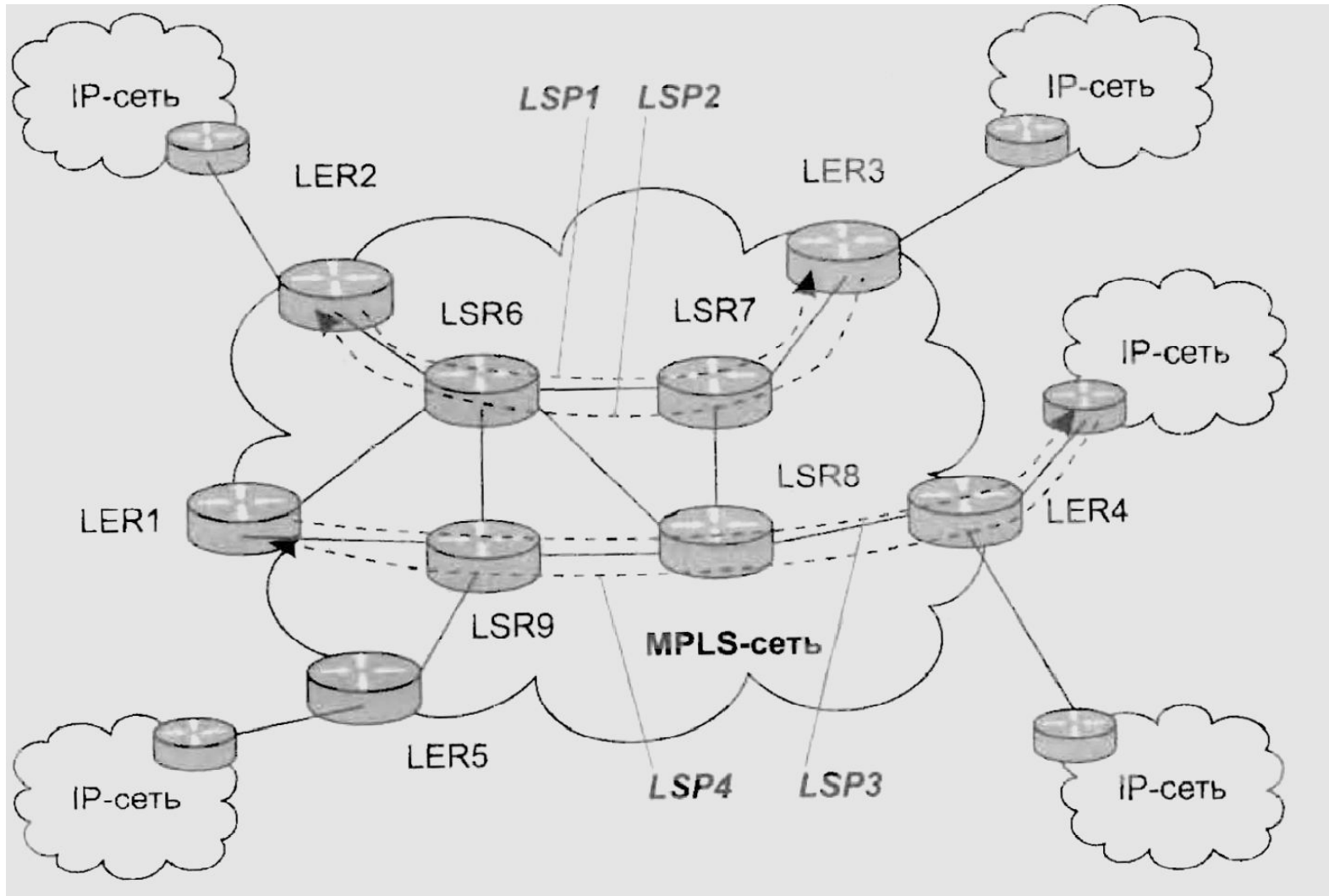
# Пример таблицы продвижения в технологии MPLS

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действие
S0	245	S1	256
S0	27	S2	45
.....	.....	.....	.....

Сигнальный протокол – протокол распределения меток (Label Distribution Protocol) LDP формирует таблицы продвижения.

Протокол LDP прокладывает через сеть виртуальные каналы пути коммутации по меткам (Label Switching Path) LSP.

# Пути коммутации по меткам



Пограничные LSR – пограничные коммутирующие по меткам маршрутизаторы (Label switch Edge Routers) LER.

# Информация о классе эквивалентного продвижения FEC (Forward Equivalence Class)

LER выполняет отображение IP-адреса на один из существующих путей LSP на основе **информации о классе эквивалентного продвижения FEC**.

Класс эквивалентного продвижения- это группа IP-пакетов, имеющих одни и те же требования к условиям транспортировки (транспортному сервису).

Классификация FEC:

- на основании IP-адреса назначения;
- в соответствии с требованием инжиниринга трафика;
- в соответствии с требованием VPN
- по типам приложений
- по MAC-адресу назначения.

# Прокладка пути коммутации по меткам

**LSP** – *однонаправленный виртуальный канал*. Для передачи трафика между двумя **LER** необходимо установить два **LSP** – по одному в каждом направлении.

**LSP** прокладывается предварительно в соответствии с топологией сети.

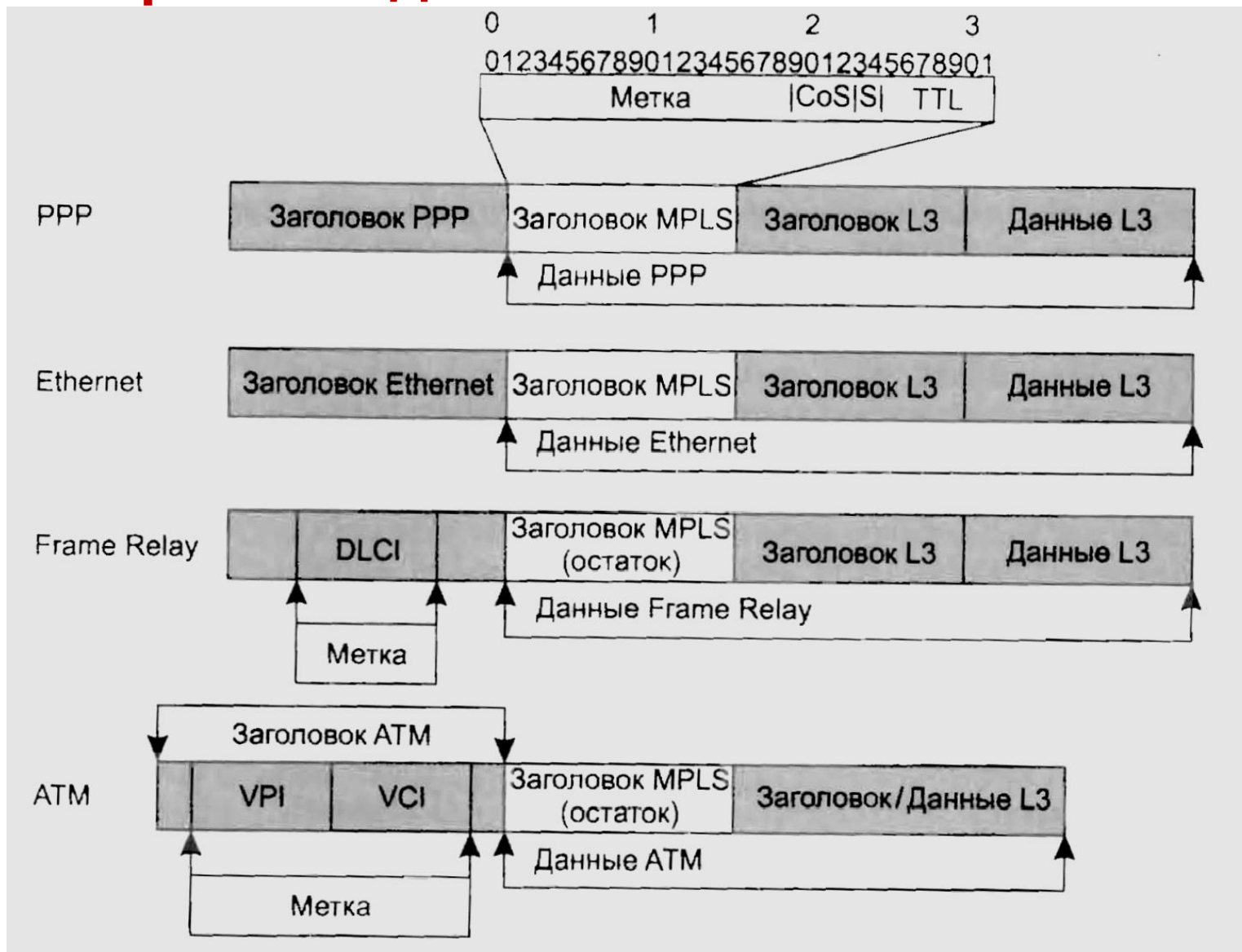
Критерии выбора пути:

- по традиционной метрике, учитывающей номинальную пропускную способность линий связи;
- по метрике, учитывающей процесс резервирования пропускной способности для потоков данных, проходящих через LSP.

# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

- **Метка** (20 бит) служит для выбора соответствующего пути коммутации по меткам.
- **Время жизни** (TTL) (8 бит) – дублирует аналогичное поле IP-пакета.
- **Класс услуги** (Class of Service, CoS) (3 бита) – указывает класс трафика, требующего определенного показателя QoS.
- **Признак дня меток** – S (1 бит).

# Форматы заголовков нескольких разновидностей технологии MPLS

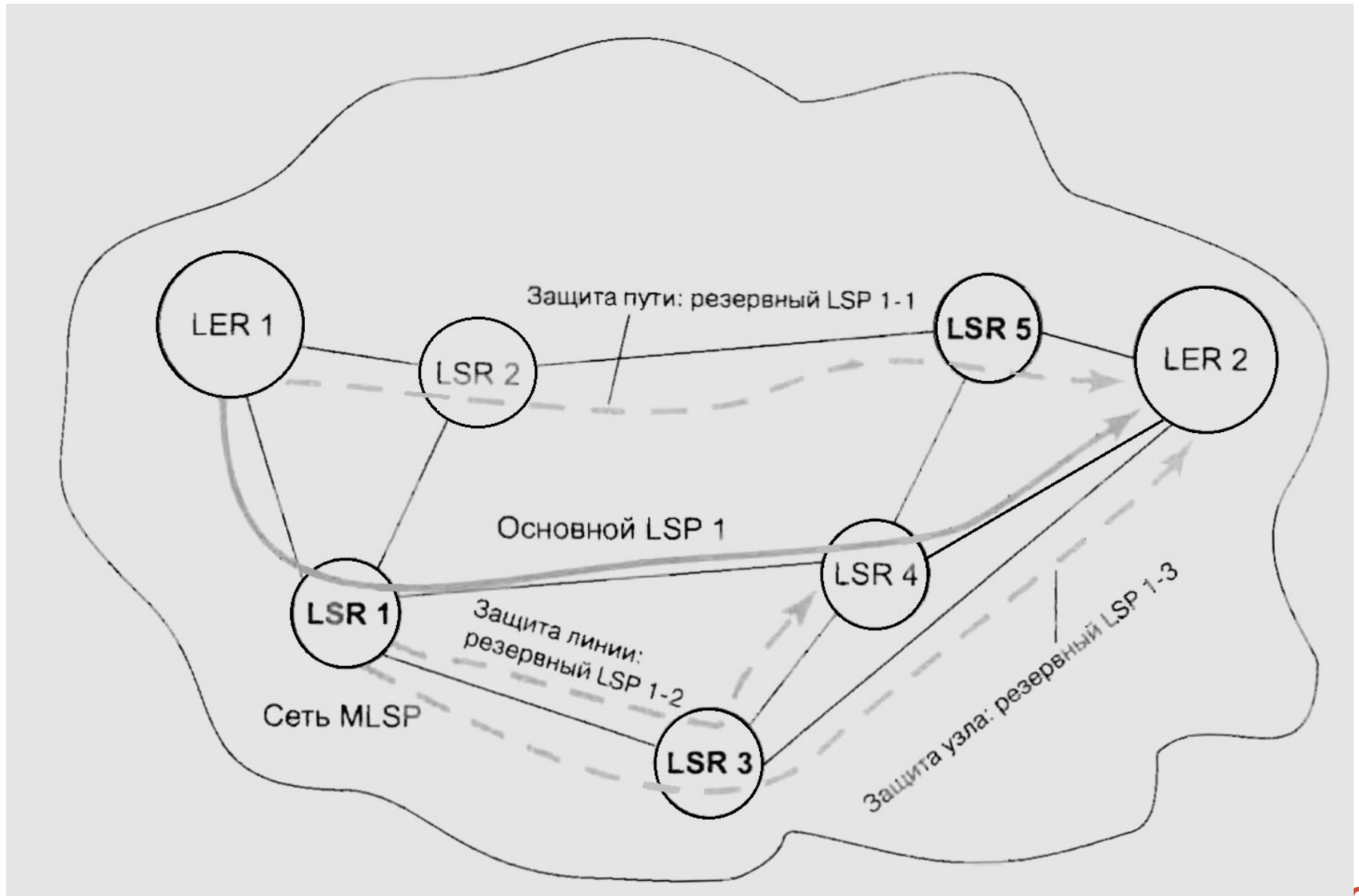


# Отказоустойчивость MPLS

Стандартизированы три механизма отказоустойчивости (автоматического защитного переключения) в сетях MPLS в случае отказа: интерфейса LSR, линии связи или LSR в целом:

- Защита линии.
- Защита узла.
- Защита пути.

# Механизмы отказоустойчивости сетей MPLS

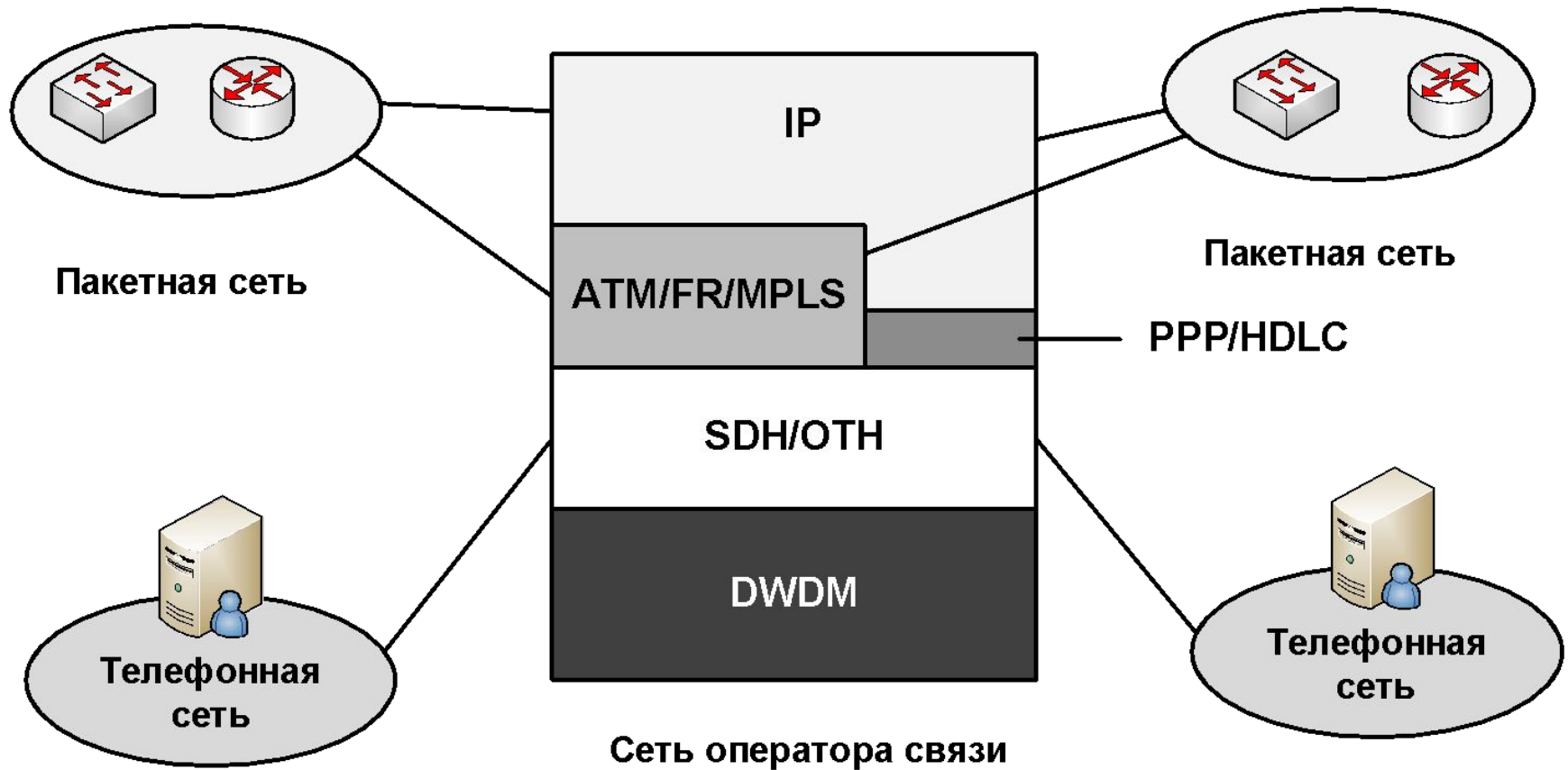




# Области применения технологии MPLS

- ❑ **MPLS IGP.** Применяется для ускоренного продвижения пакетов сетевого уровня, следующих вдоль маршрутов, выбираемых стандартными внутренними шлюзовыми протоколами маршрутизации.
- ❑ **MPLS TE.** Пути коммутации по меткам выбираются для решения задач инжиниринга трафика (Traffic Engineering, TE) на основе модифицированных протоколов OSPF и IS-IS.
- ❑ **MPLS VPN.** Технология позволяет поставщику предоставлять услуги виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN) путем разграничения трафика между пользовательскими сетями. Применяется технология виртуальных каналов.

# Глобальные сети IP



Многоуровневая структура сети оператора связи

# Протокол HDLC и PPP

Протокол **HDLC** (High-level Data Link Control – высокоуровневое управление линией связи) представляет семейство протоколов, реализующих функции канального уровня.

Протокол **PPP** (Point-to-Point Protocol) – стандартный протокол Интернет. Реализует гибкую и многофункциональную процедуру принятия параметров соединения. Стороны обмениваются параметрами: качество линии, размер кадров, тип протокола аутентификации, тип инкапсулируемых протоколов сетевого уровня.

Протокол **LCP** (Link Control Protocol – протокол управления линией связи) используется в PPP для переговоров о принятии параметров соединения.

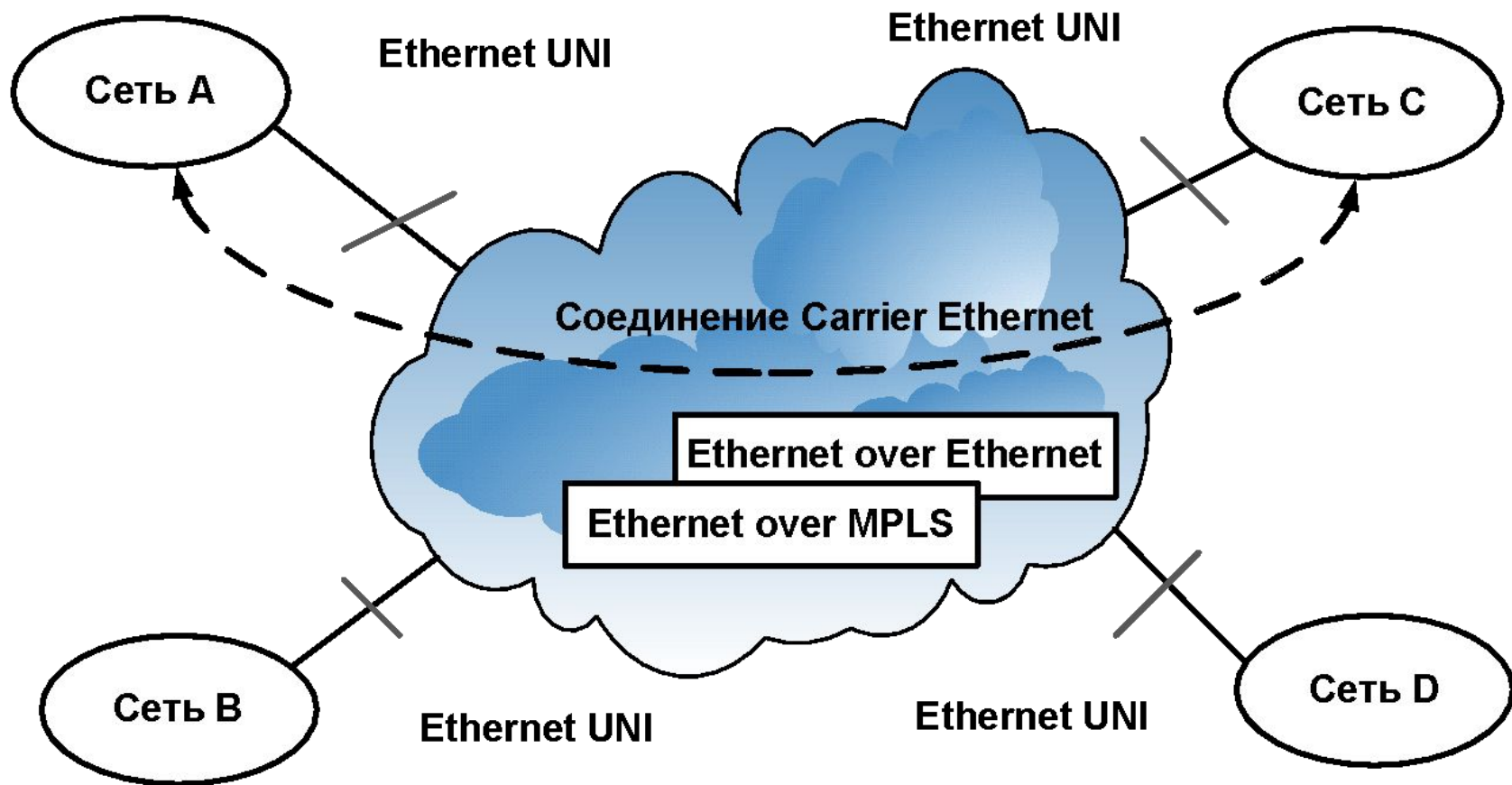
# Carrier Ethernet – Ethernet операторского класса

Под Carrier Ethernet понимают услуги Ethernet, которые операторы связи представляют в глобальном масштабе, и технологии, лежащие в основе этих услуг.

Преимущества использования Ethernet для построения глобальных сетей:

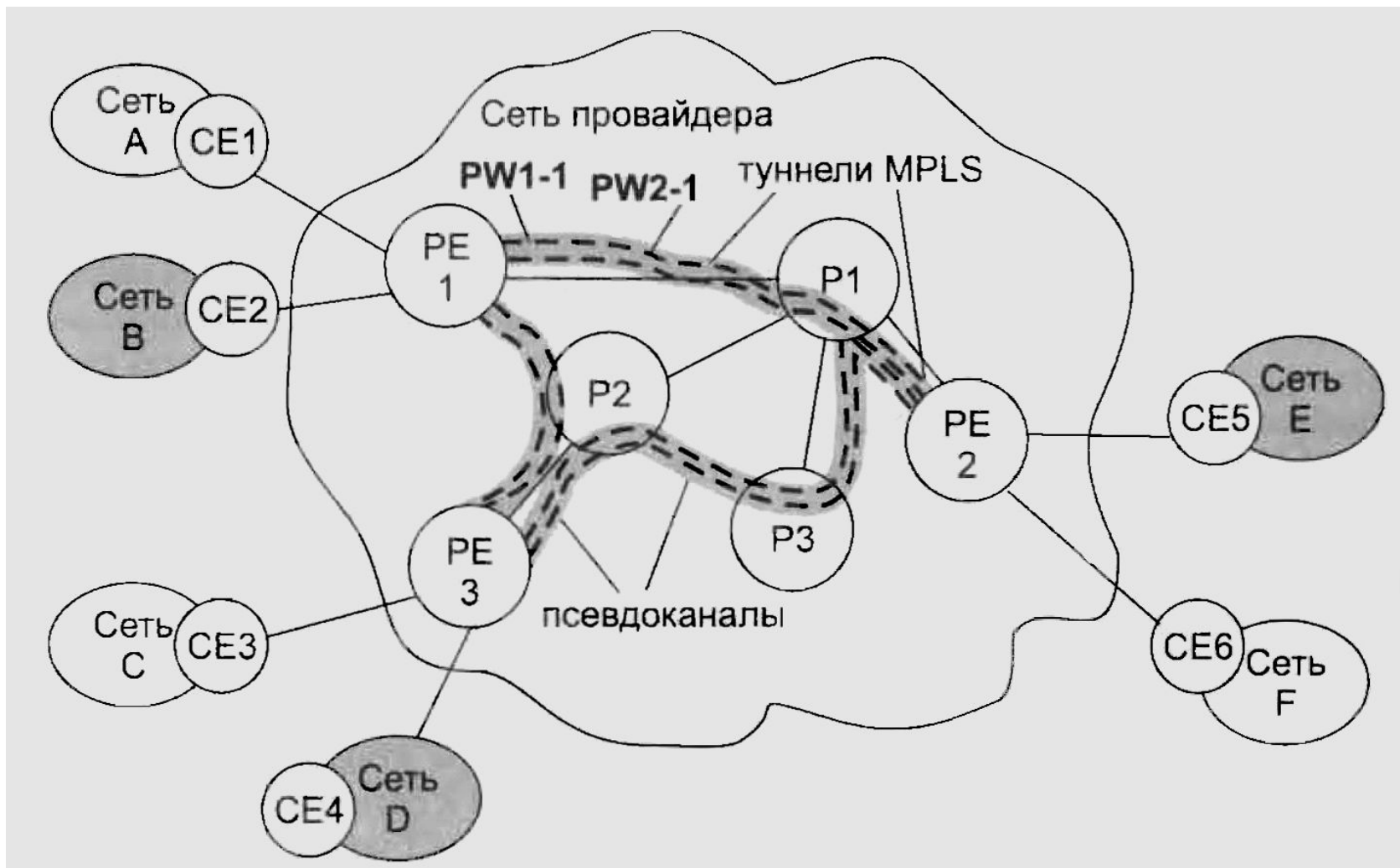
- возможность соединения своих территориально рассредоточенных сетей привычным способом, т.е. на уровне Ethernet-коммутаторов;
- низкая стоимость портов оборудования Ethernet;
- стремление к унификации в глобальных сетях.

# Различные варианты реализации услуги Carrier Ethernet



Ethernet UNI - стандартный интерфейс Ethernet

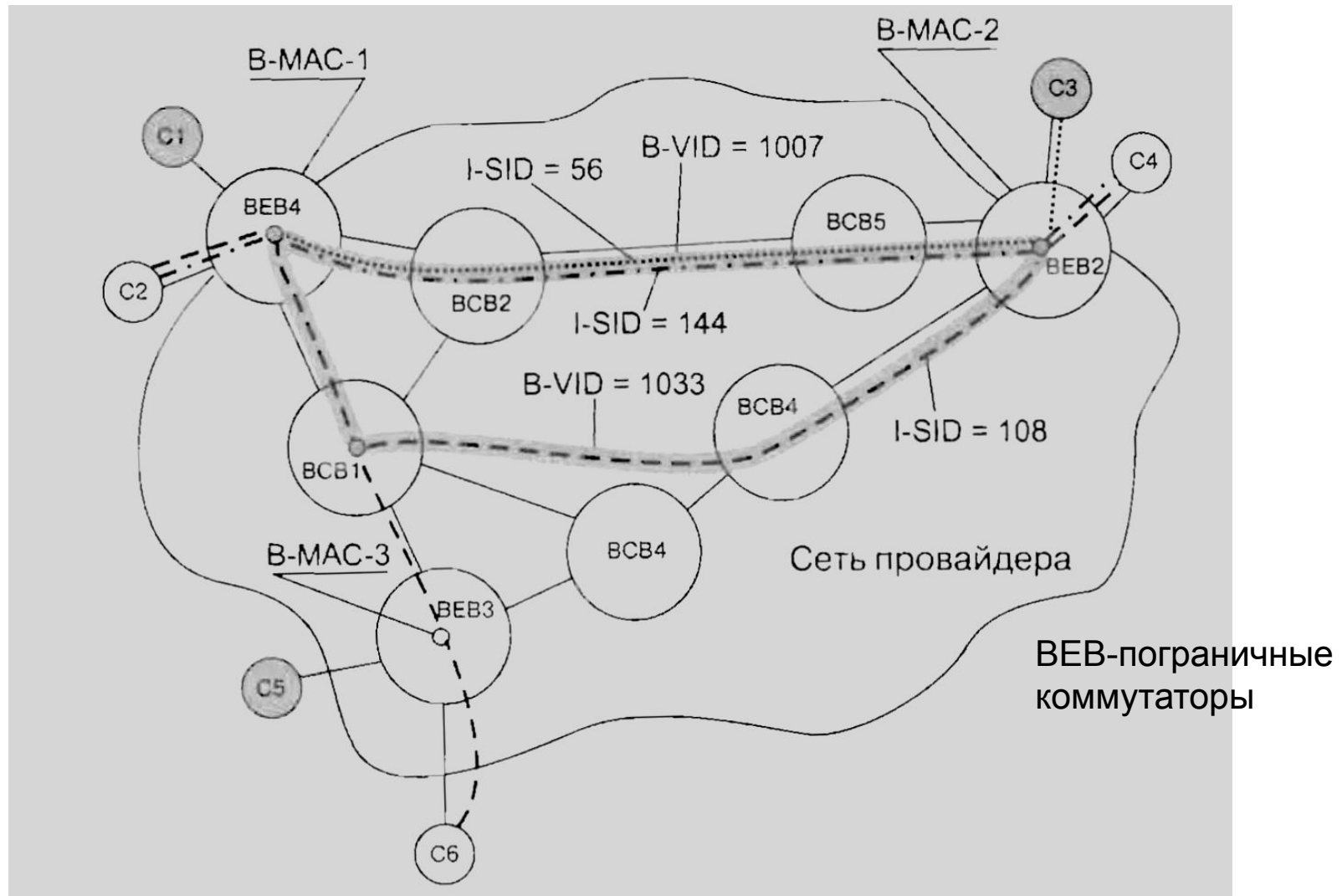
# Ethernet на основе MPLS. Услуга VPLS



CE – пограничное устройство сети клиента,

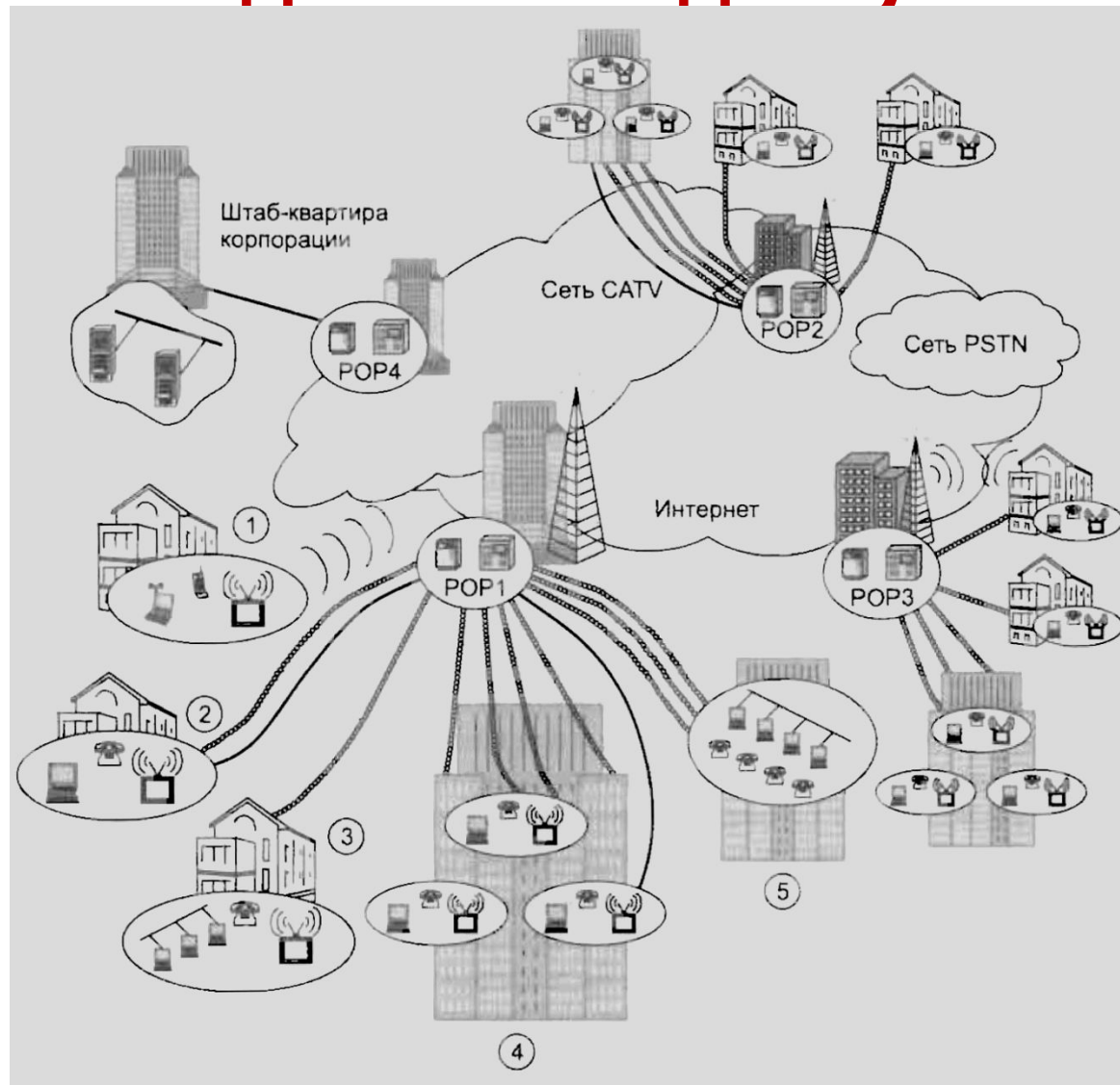
PE (LER) – пограничный маршрутизатор провайдера услуги.

# Ethernet на основе Ethernet, или Carrier Ethernet Transport



Организация PVB (Provider Backbone Bridges)  
(магистральные мосты провайдера 2008)

# Удаленный доступ



Клиенты удаленного доступа



# Заключительный слайд



Ю.Л. Леохин