

Технологии организации первичных сетей

*Дисциплина «Организация систем и сетей»
модуль 1*

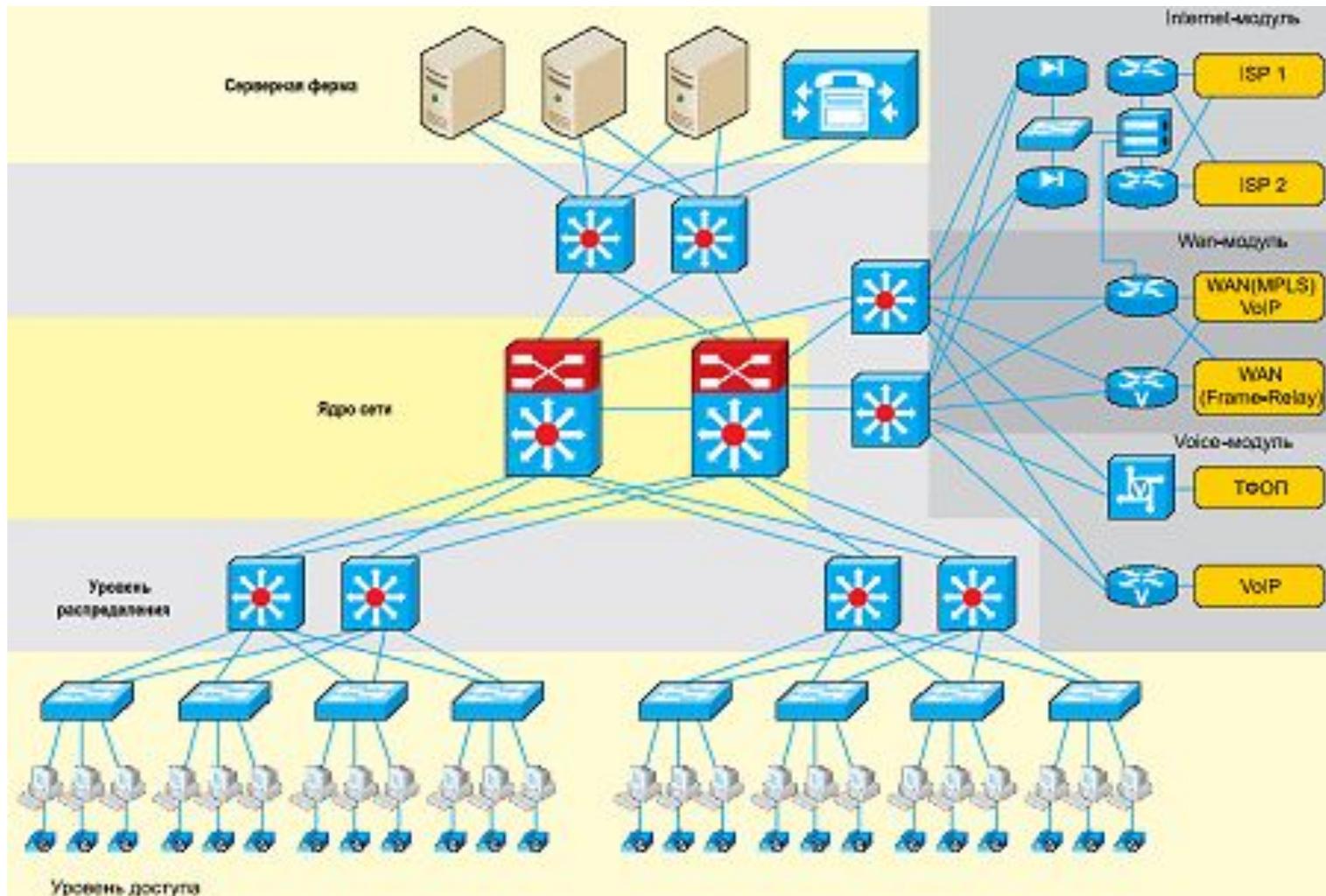
Профессор, д.т.н. Юрий Львович Леохин

Структуры компьютерных сетей

Распределенные структуры

Многослойные структуры

Распределенная структура



Назначение уровней

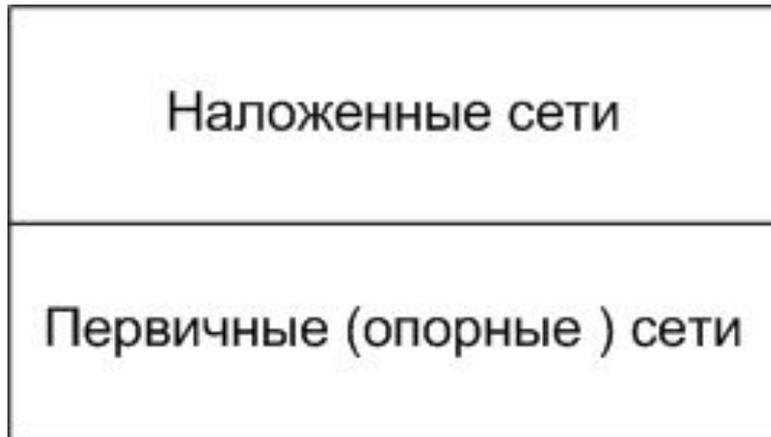
- **Уровень доступа** отвечает за подключение пользовательских устройств к сети. На этом уровне осуществляется разделение пользователей по виртуальным подсетям (VLAN), осуществляется базовая безопасность (блокирование неиспользованных портов, фильтрация mac-адресов или аутентификация 802.1x), задаются 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.

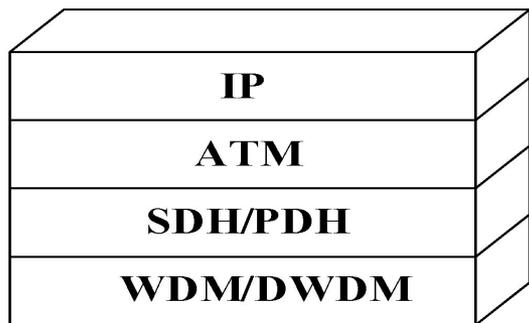
Обобщенная многослойная структура



Предоставляют услуги конечным пользователям

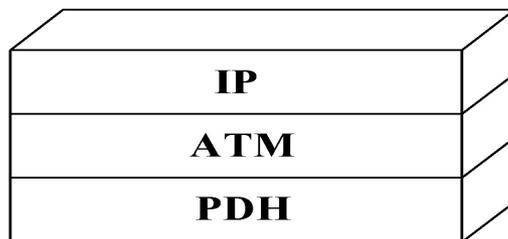
Фундамент для построения скоростных цифровых каналов

Многослойные структуры

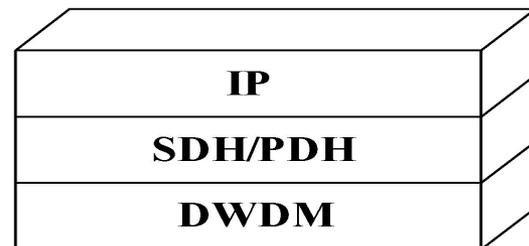


Магистраль WAN

*Четырехслойная
структура
корпоративной сети*

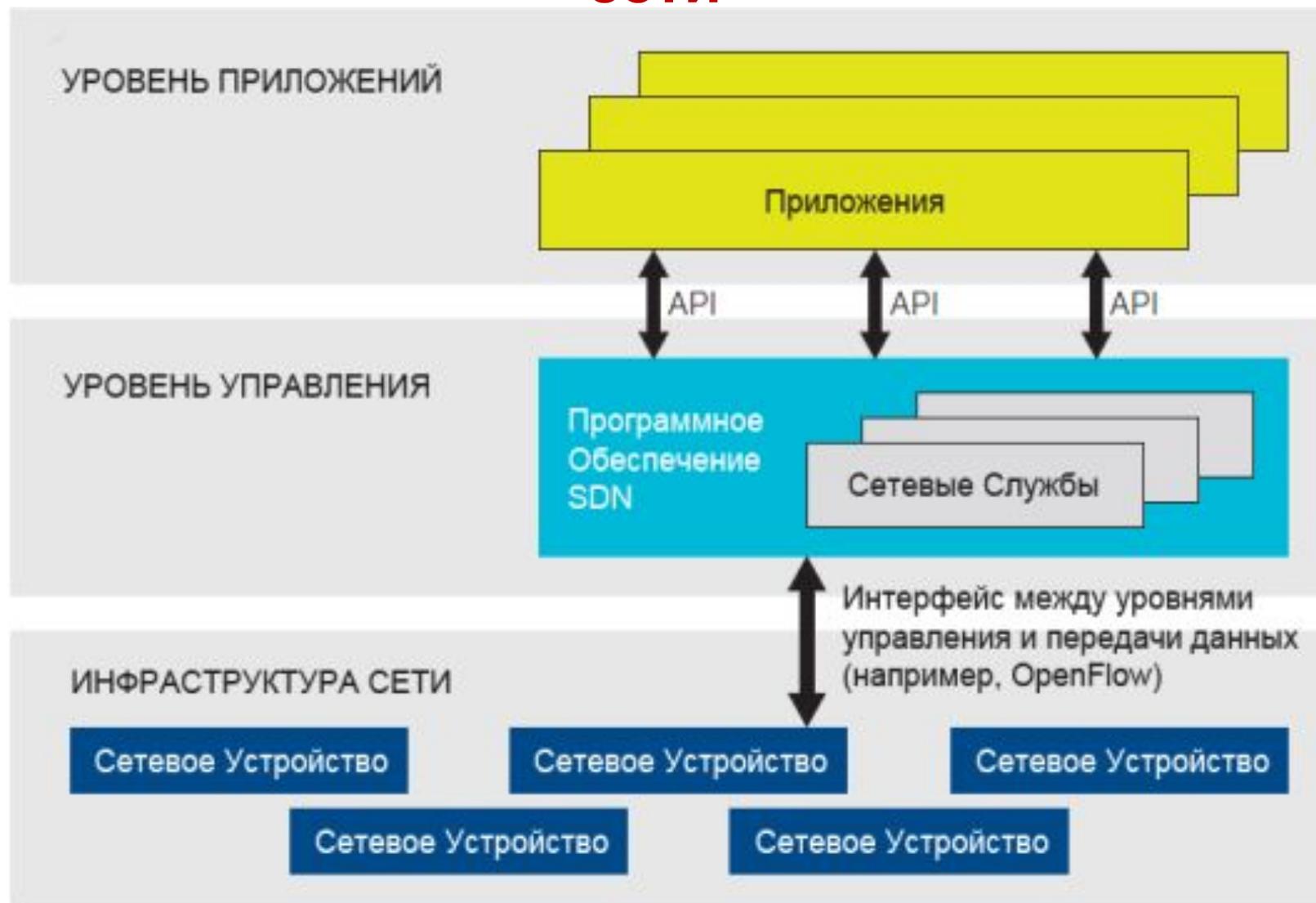


*Структура
корпоративной сети
средних размеров*



*Структура
«чистой» IP-сети*

Архитектура программно-конфигурируемой сети



Описание структуры SDN сети

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

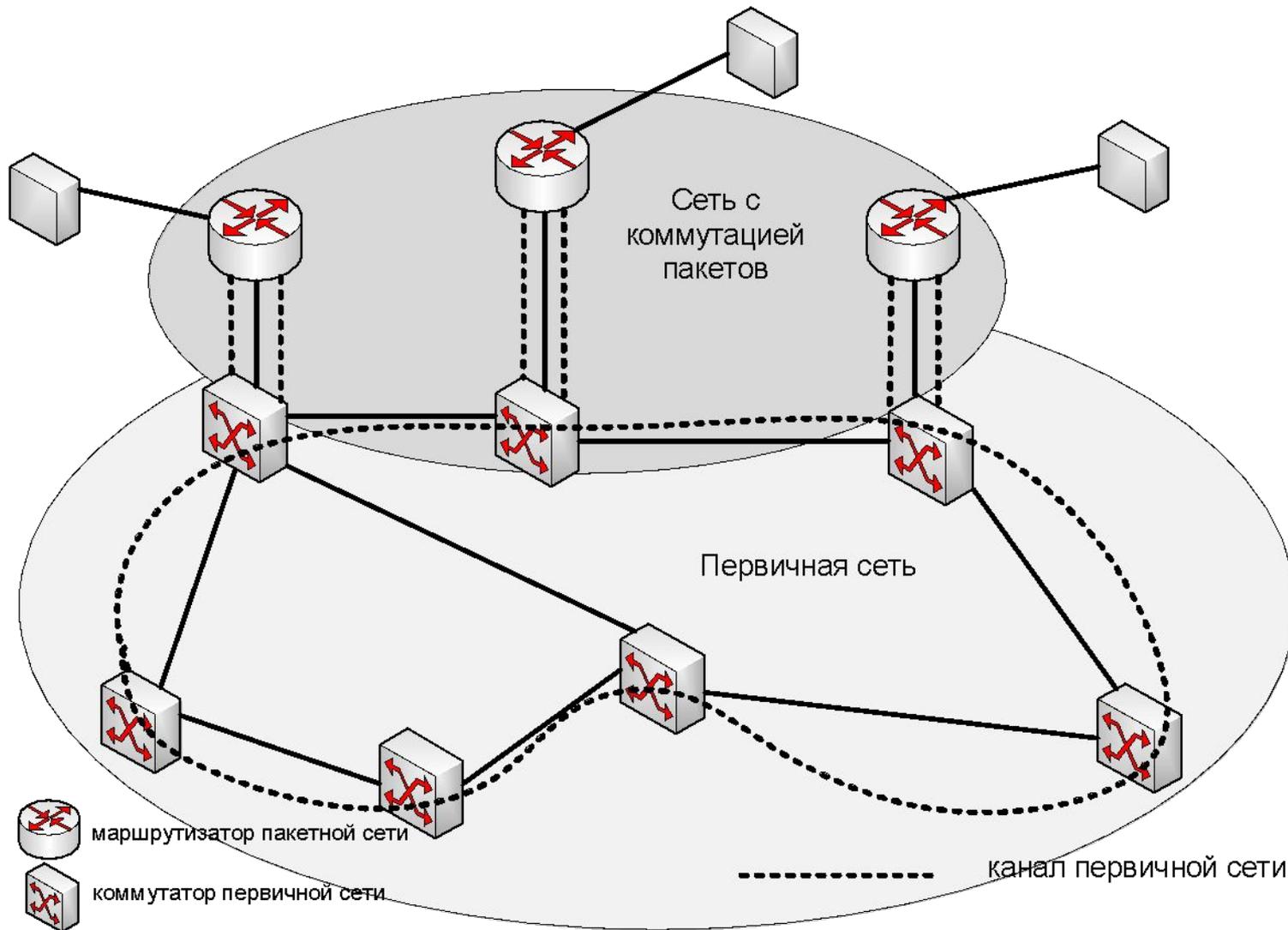
Уровень управления отслеживает и поддерживает глобальное представление сети, т.е. топологию сети и состояние сетевых устройств. Уровень представляет программный интерфейс (API) для сетевых приложений.

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

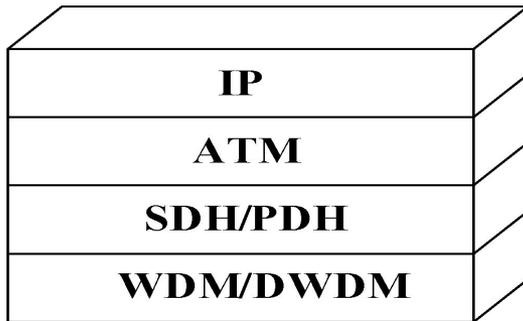
Первичные сети

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

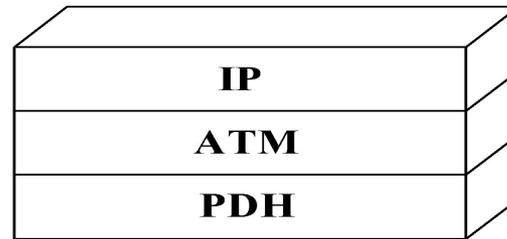


Многослойные структуры

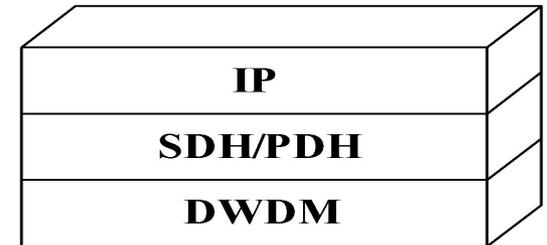


Магистраль WAN

*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)

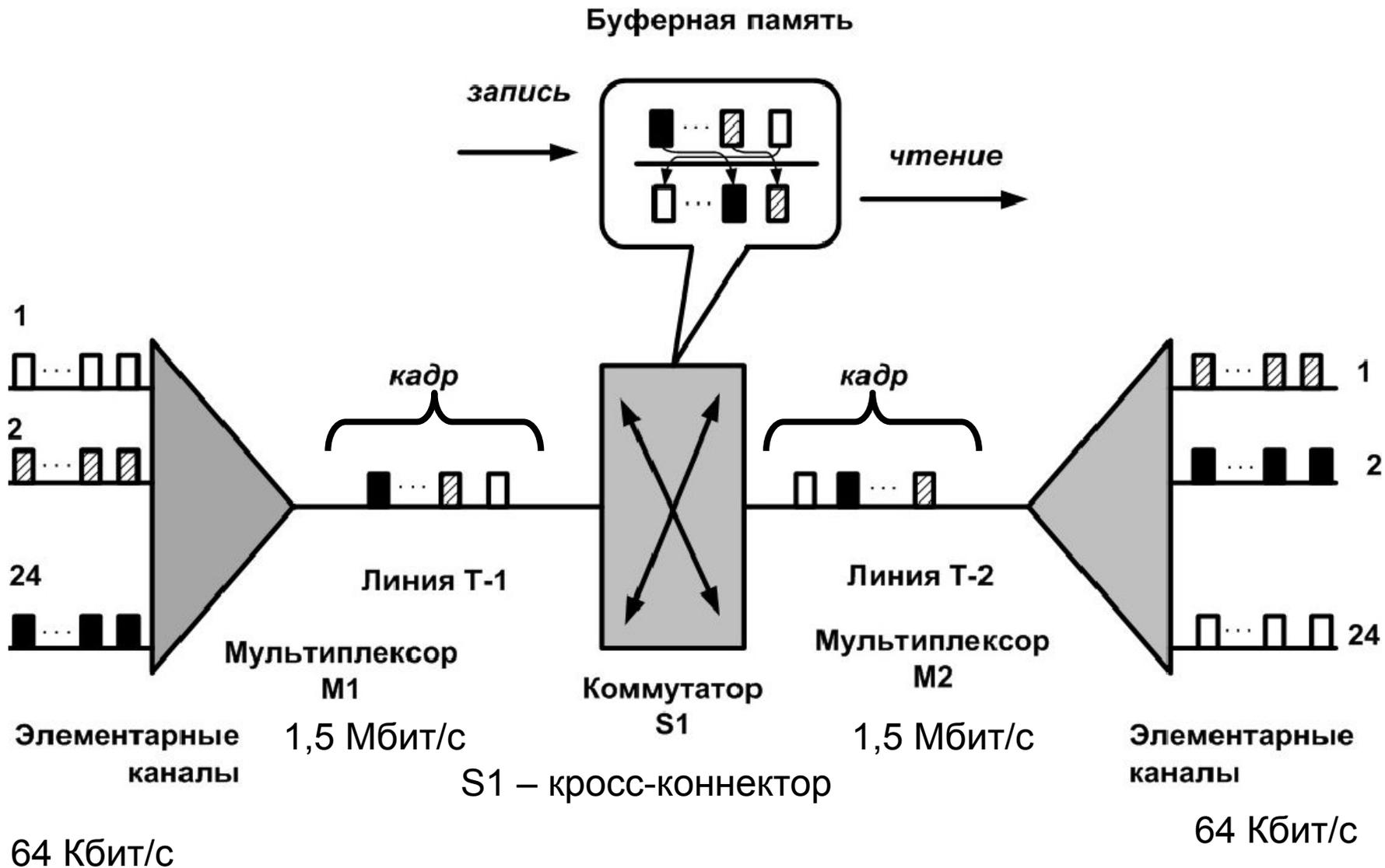
Конец 60-х годов АТ@Т разработала технологию PDH для связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой.

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

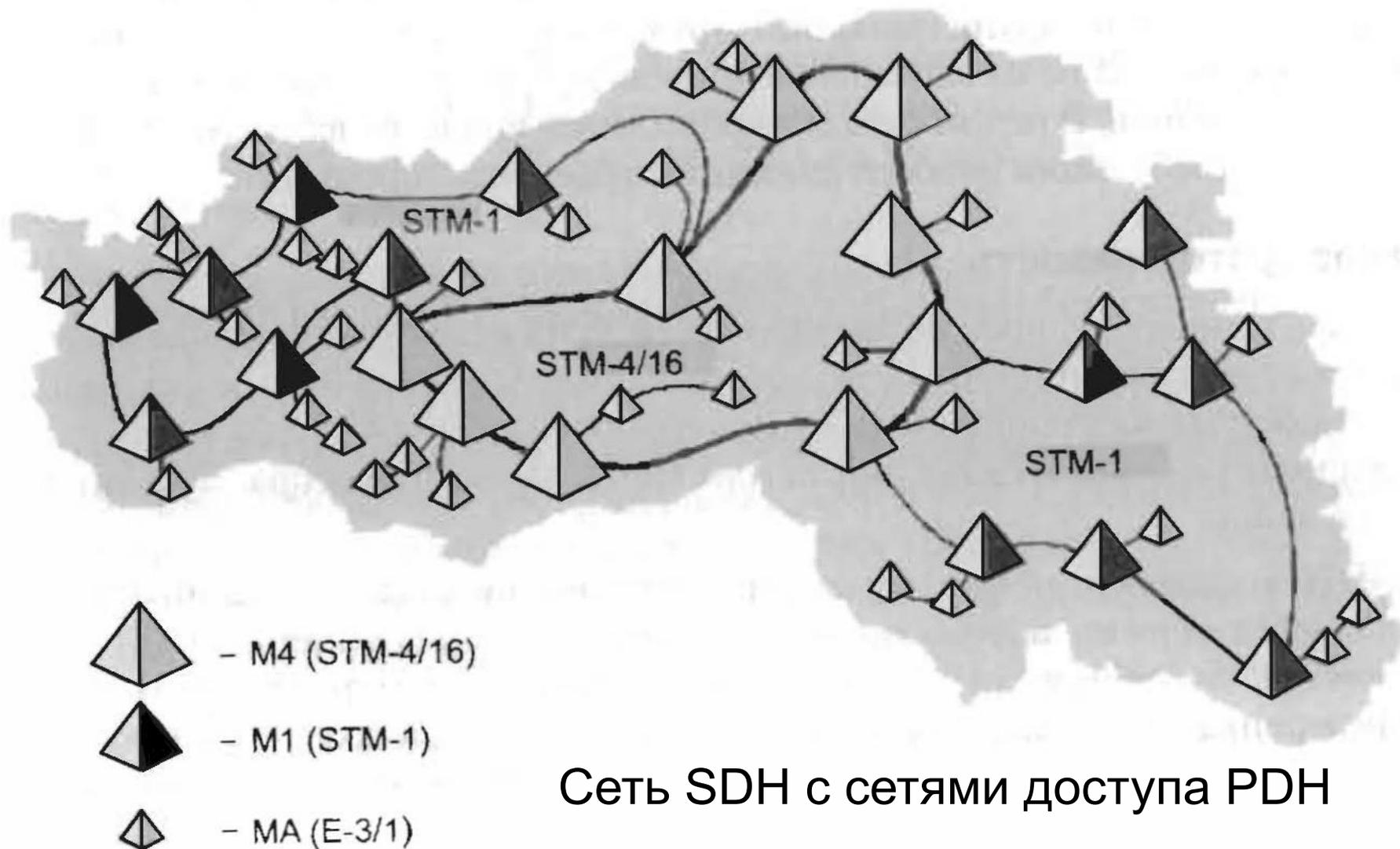
STM-N - синхронный транспортный модуль уровня N

STS-N - синхронный транспортный сигнал уровня N

OC-N - оптоволоконная линия связи уровня N

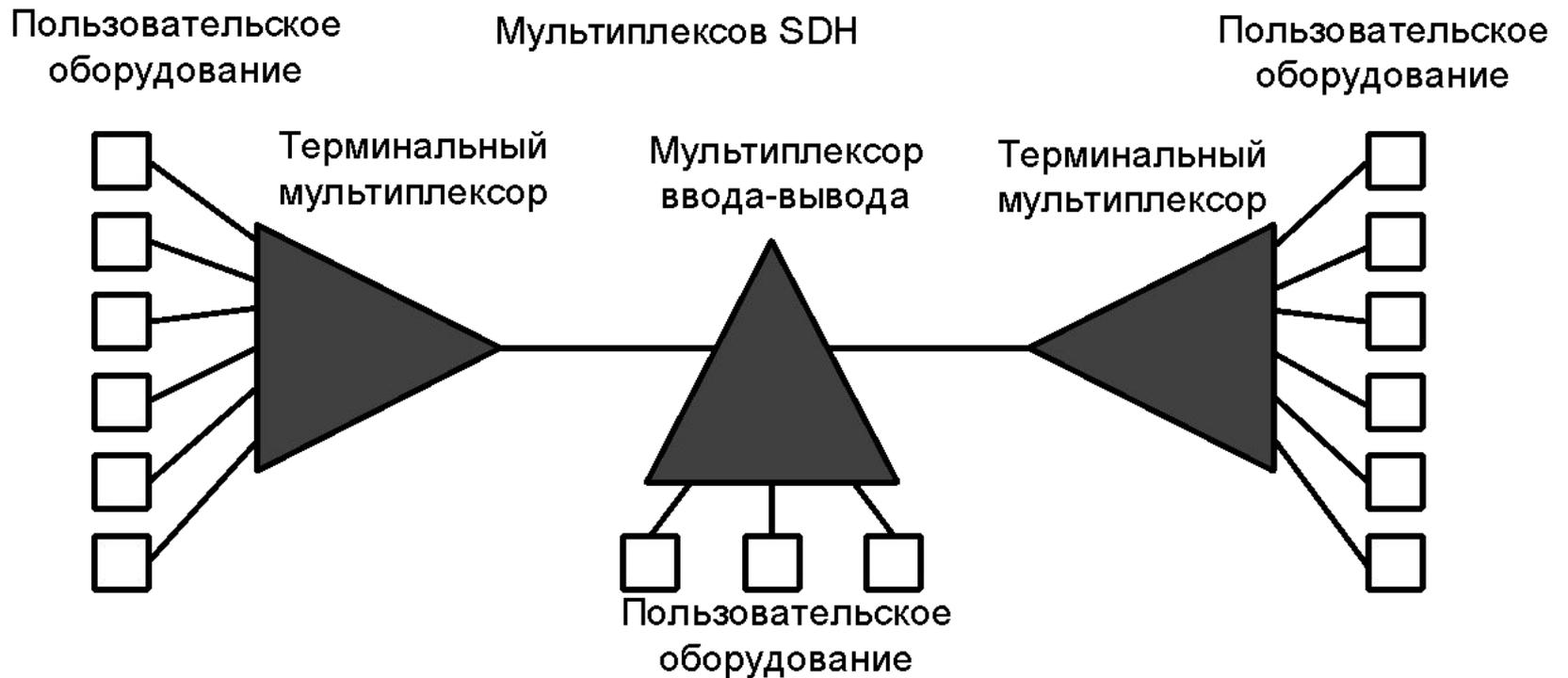
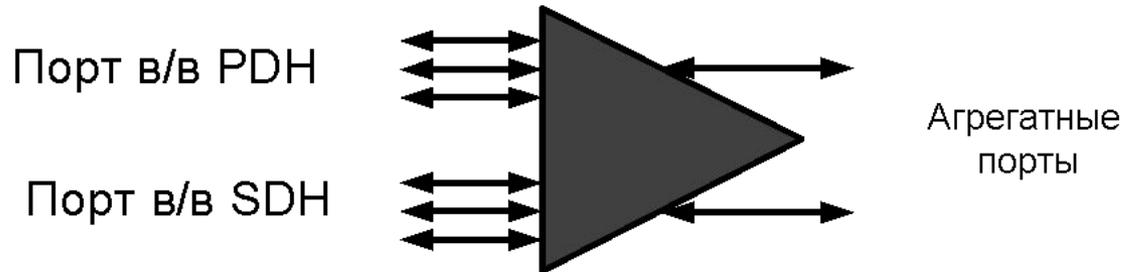
Сети SONET/SDH

(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)

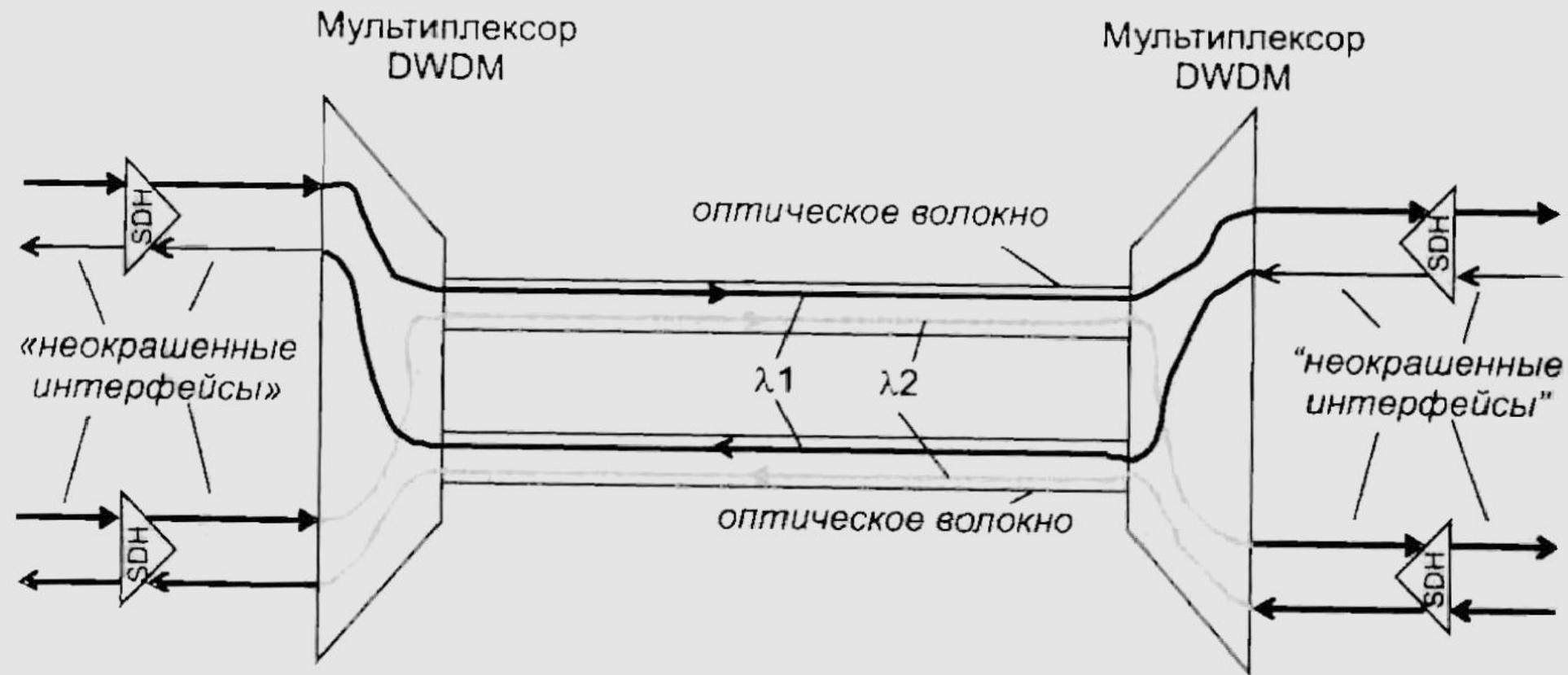
Технология **DWDM** предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях.

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

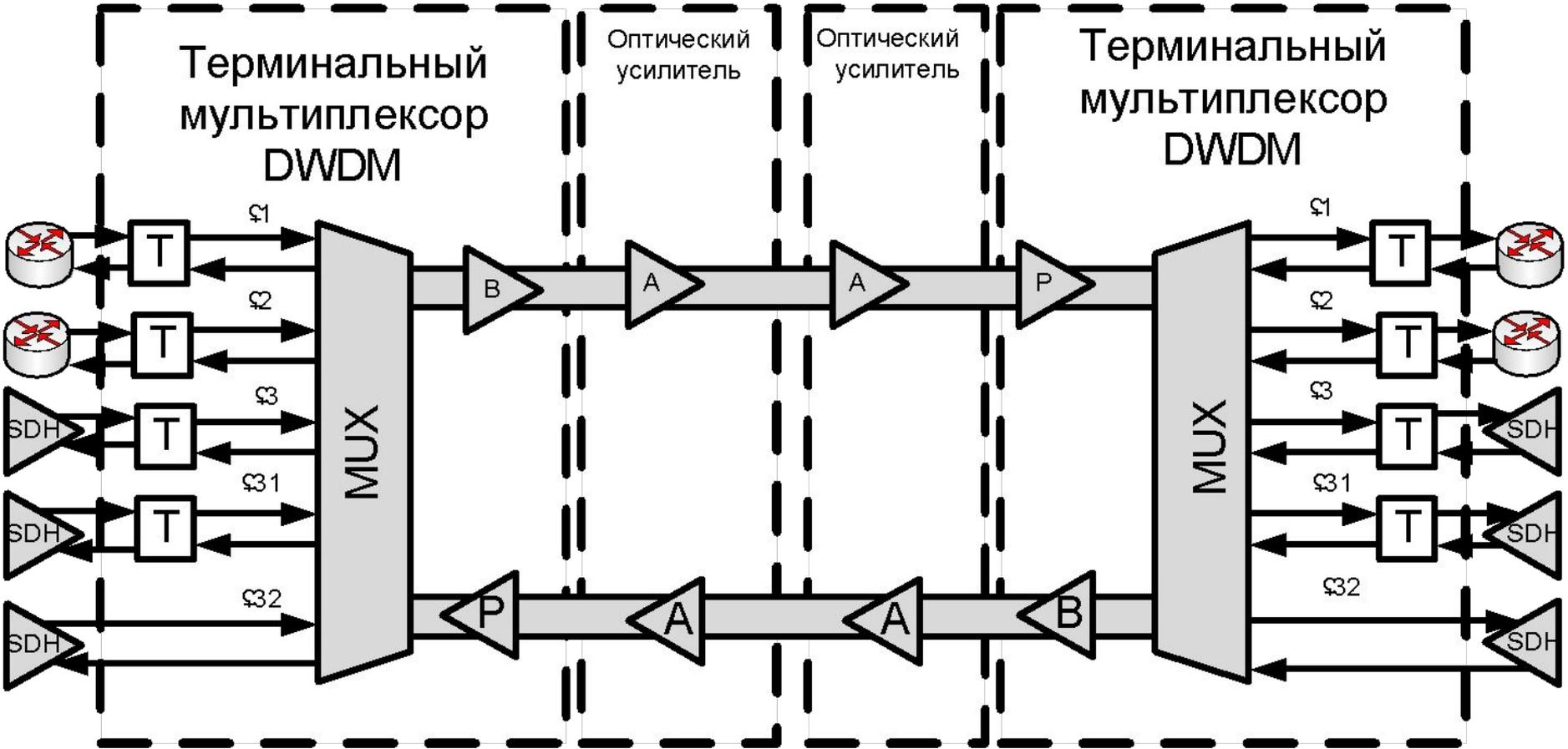
Оборудования **DWDM** выполняет функции **мультиплексирования** (объединения различных волн в одном световом пучке) и **демультиплексирования** (выделение информации каждого спектрального канала из общего сигнала), **коммутации** волны.

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.

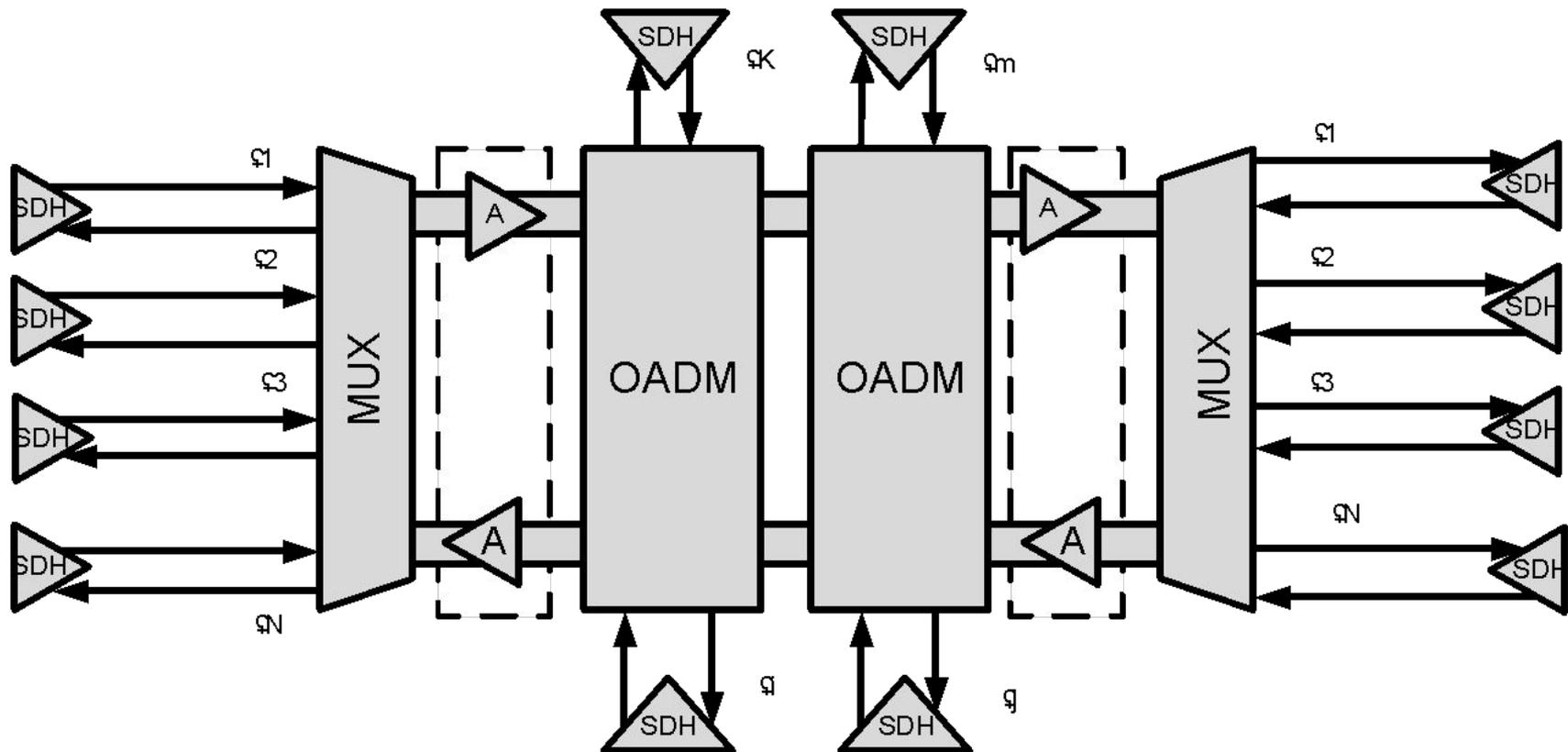
Сеть DWDM (технология уплотнения волнового мультиплексирования)



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).

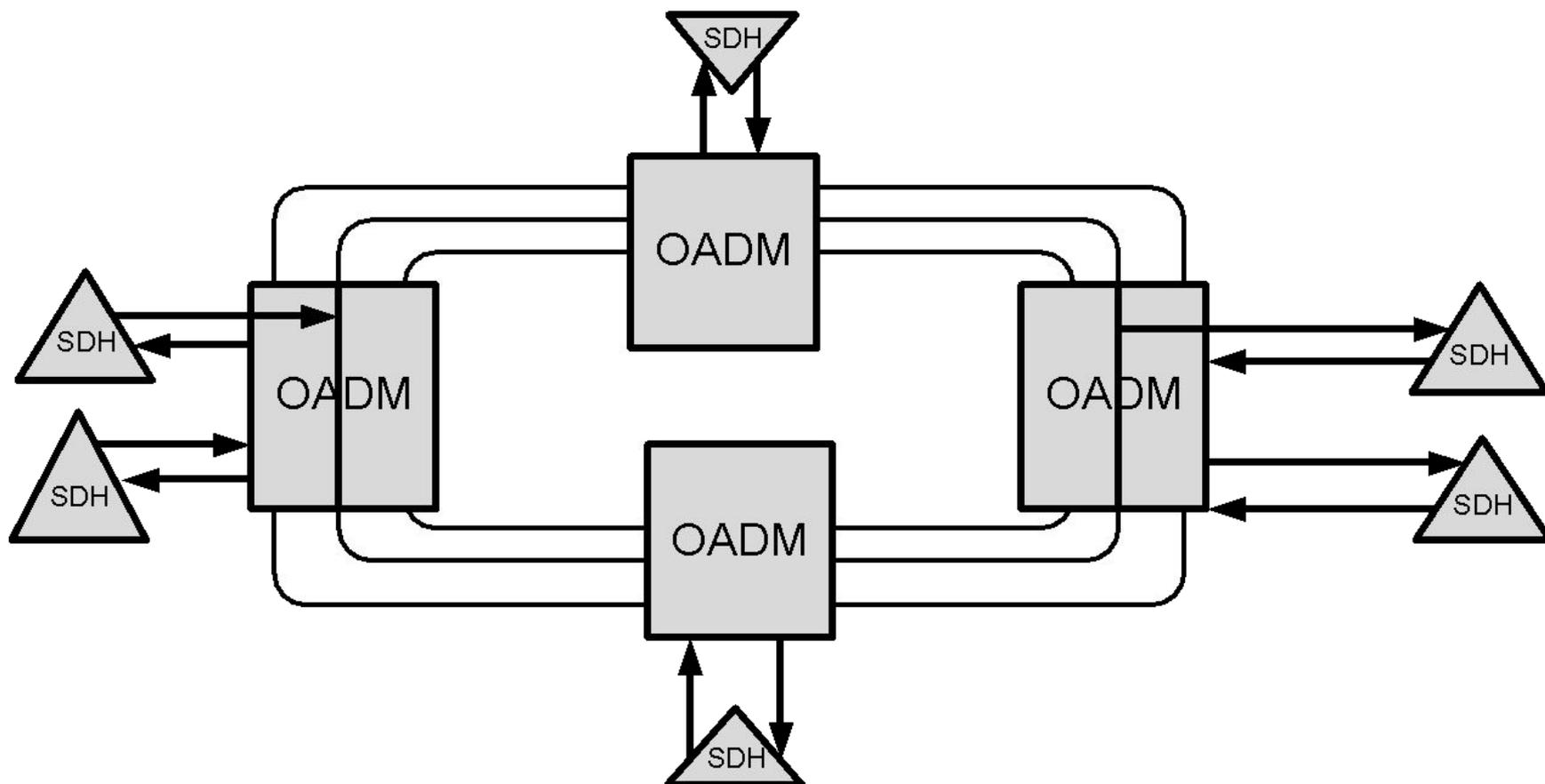


SDH – мультиплексор SDH

MUX – терминальные мультиплексоры DWDM

OADM – оптические мультиплексоры ввода-вывода

Типовые топологии. Кольцо мультиплексоров 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

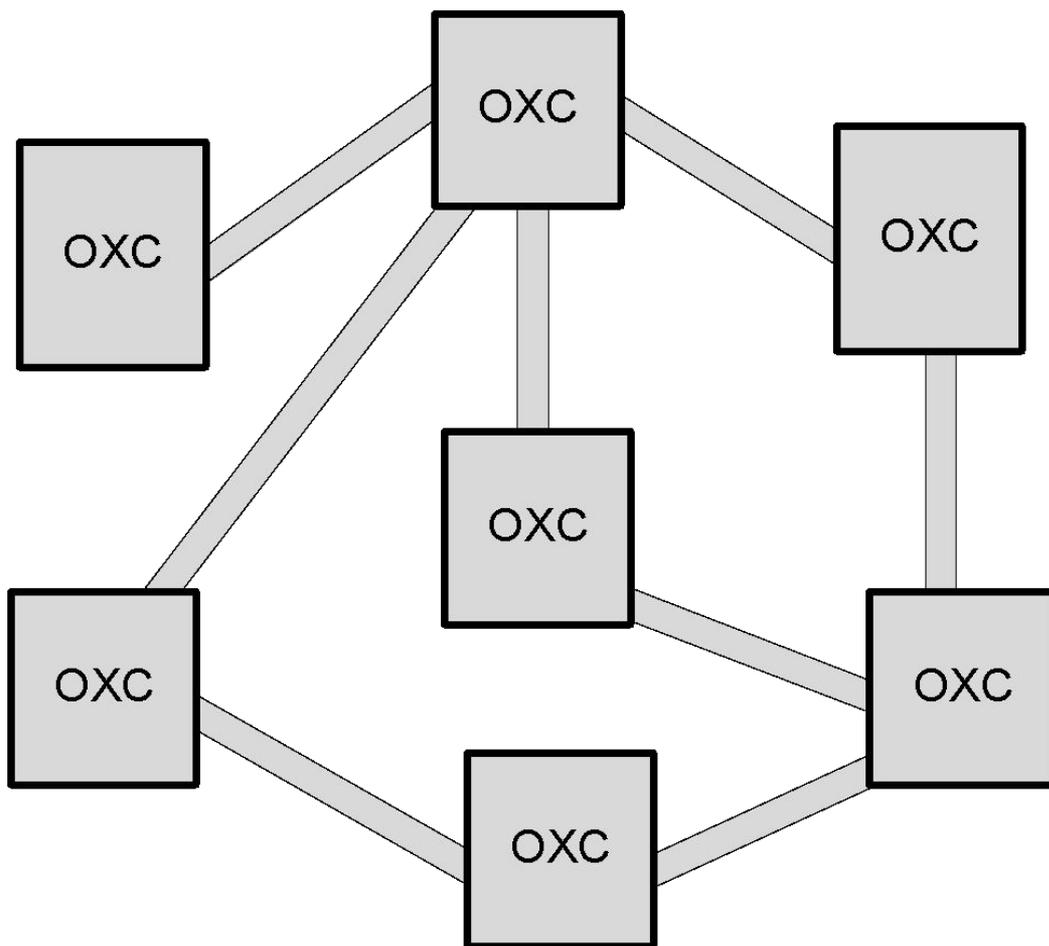
Активные мультиплексоры

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.

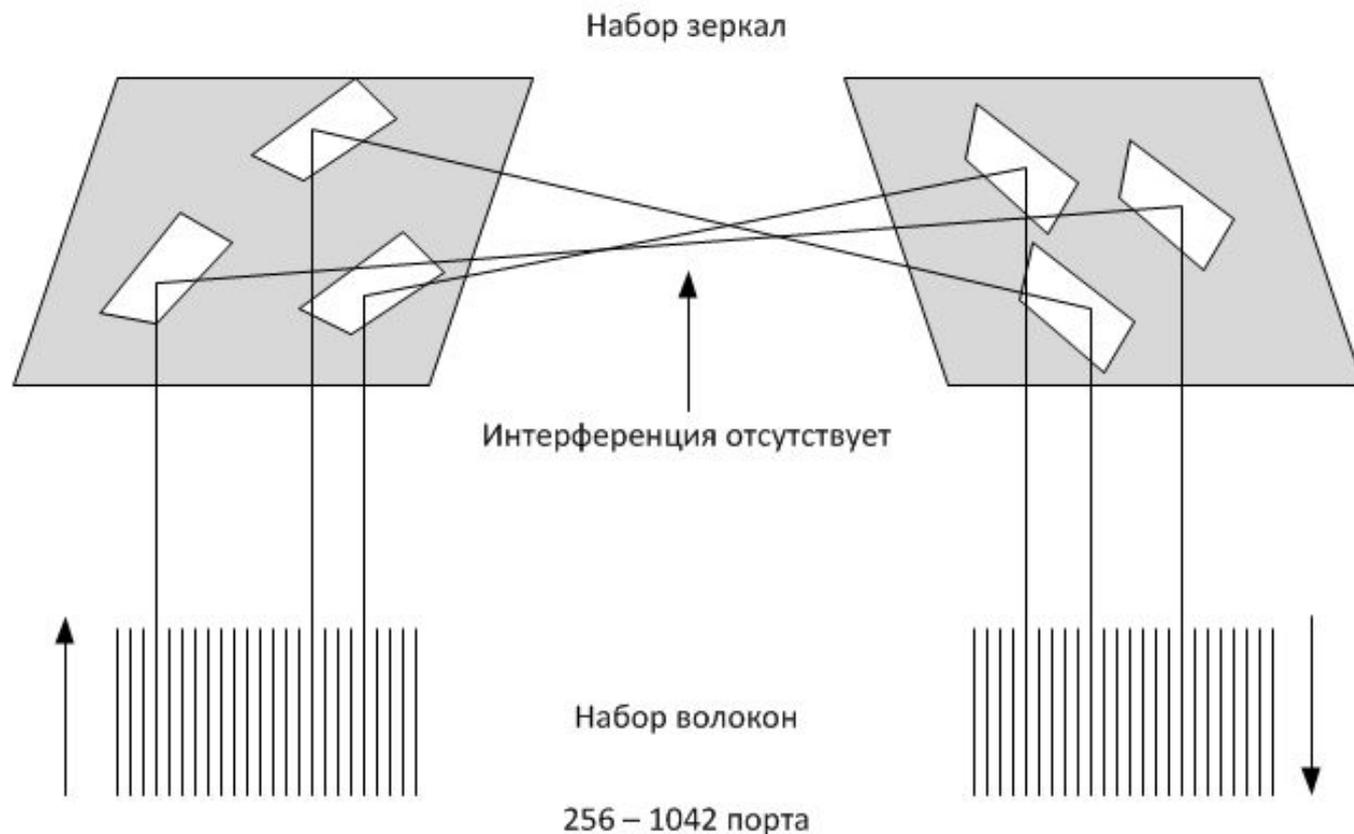


Преимущества:
обеспечивает лучшие
показатели гибкости,
производительности и
отказоустойчивости.

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

Интерфейс G.709	Битовая скорость	Соответствующий уровень SDH	Информационная скорость, Гбит/с
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

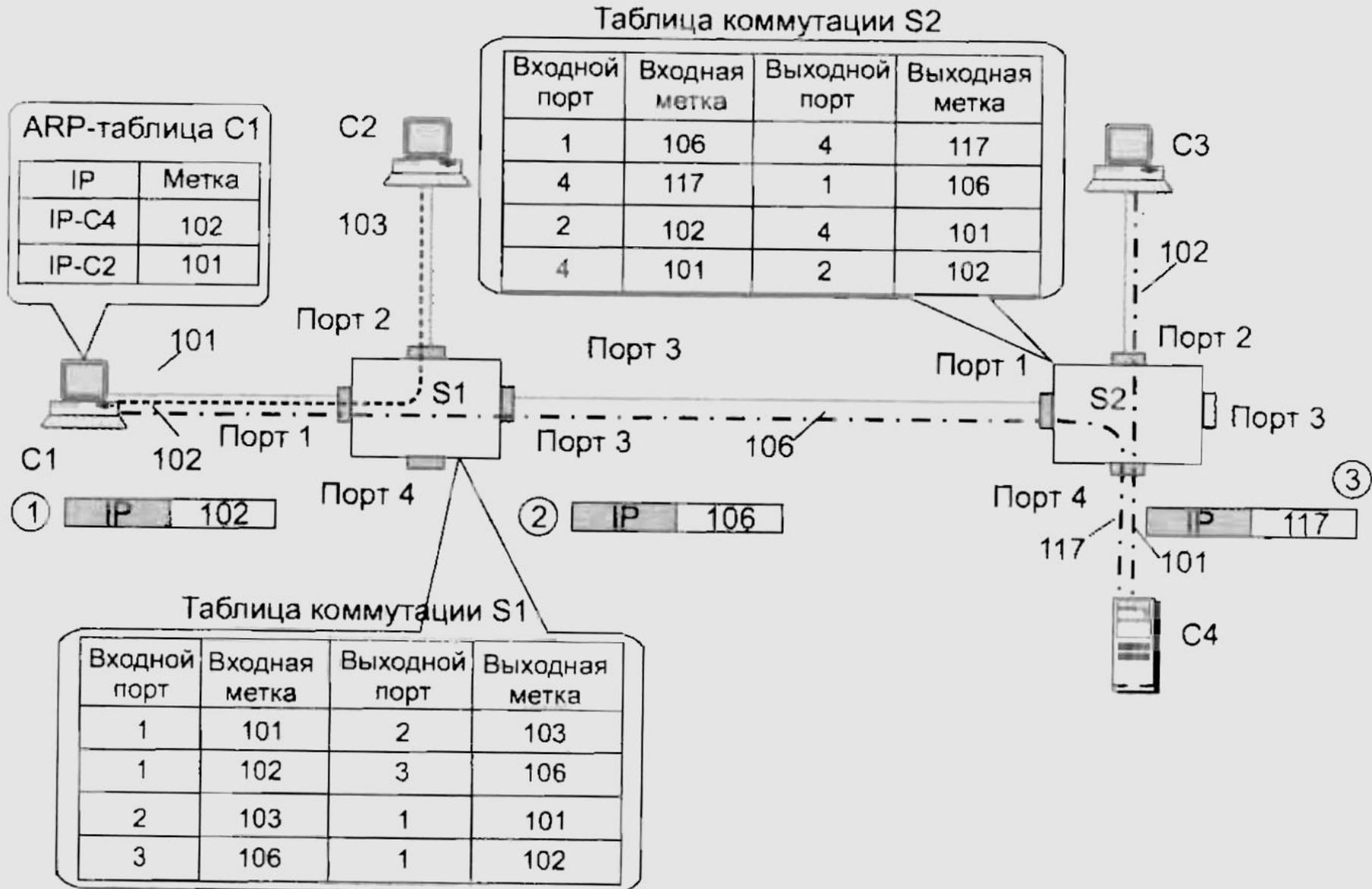
Технология Frame Relay

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

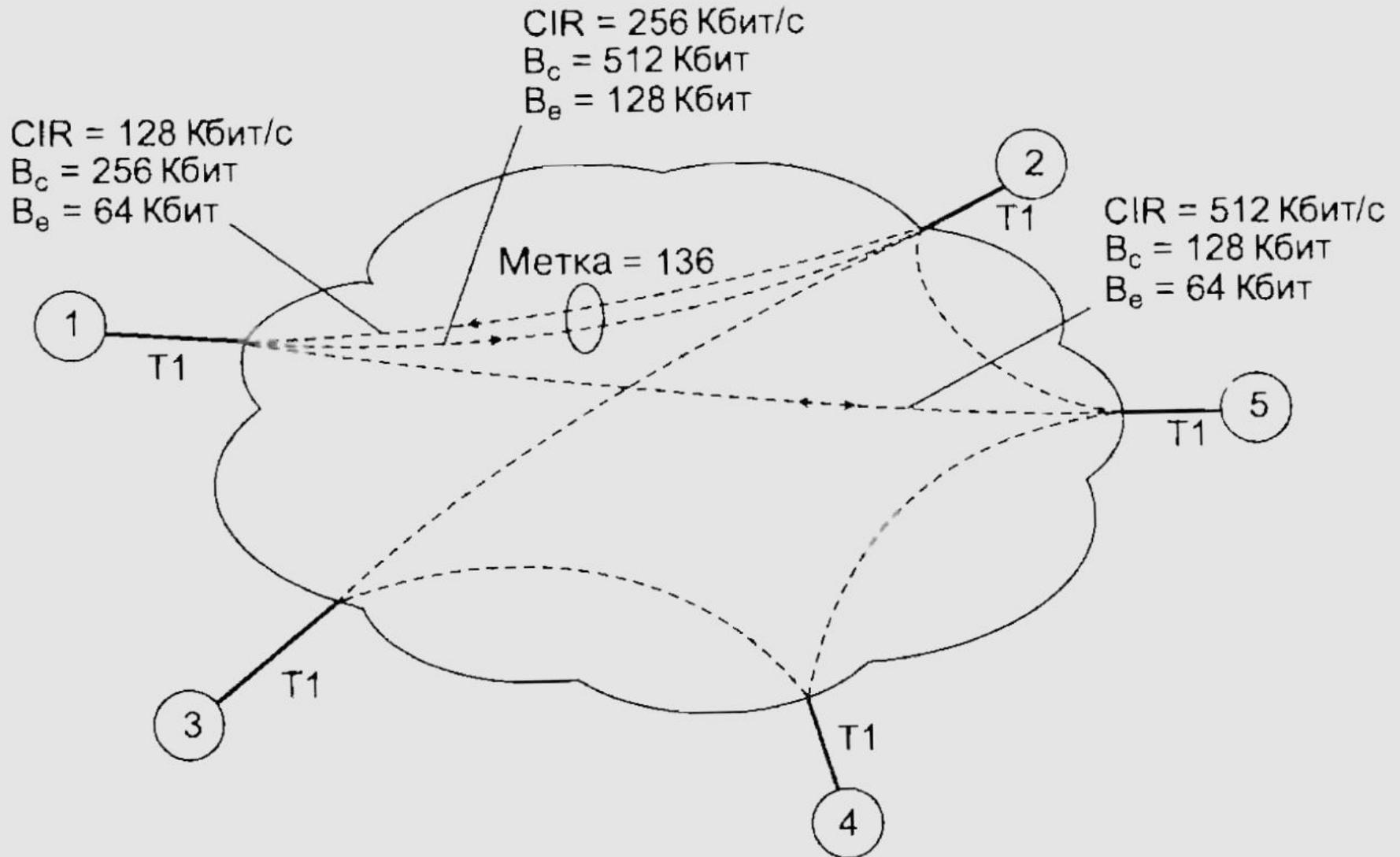
Достоинства FR:

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

Техника продвижения кадров вдоль виртуальных каналов



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).

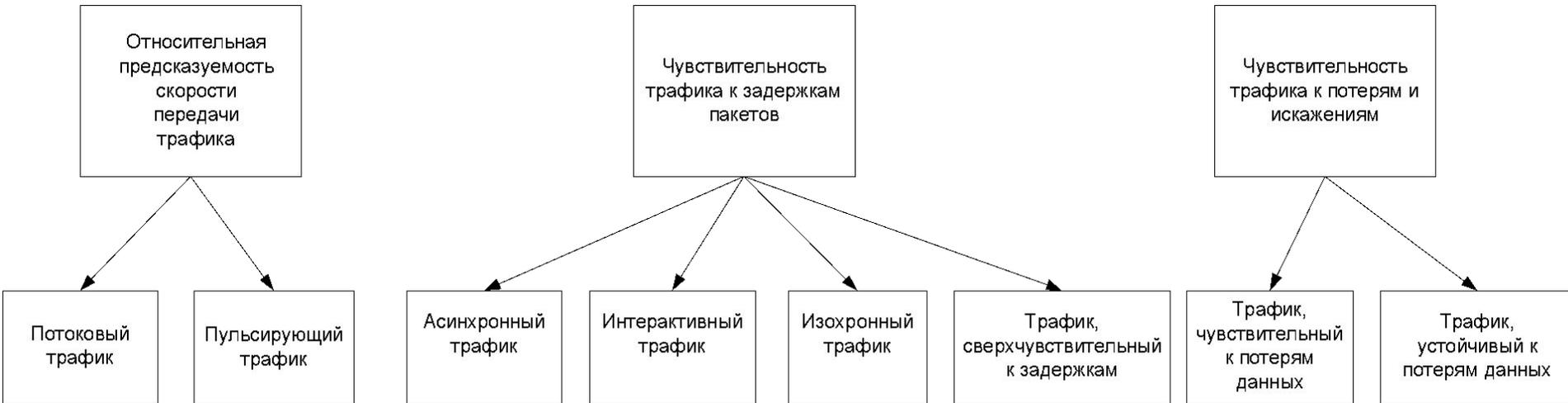
Ячейки АТМ

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



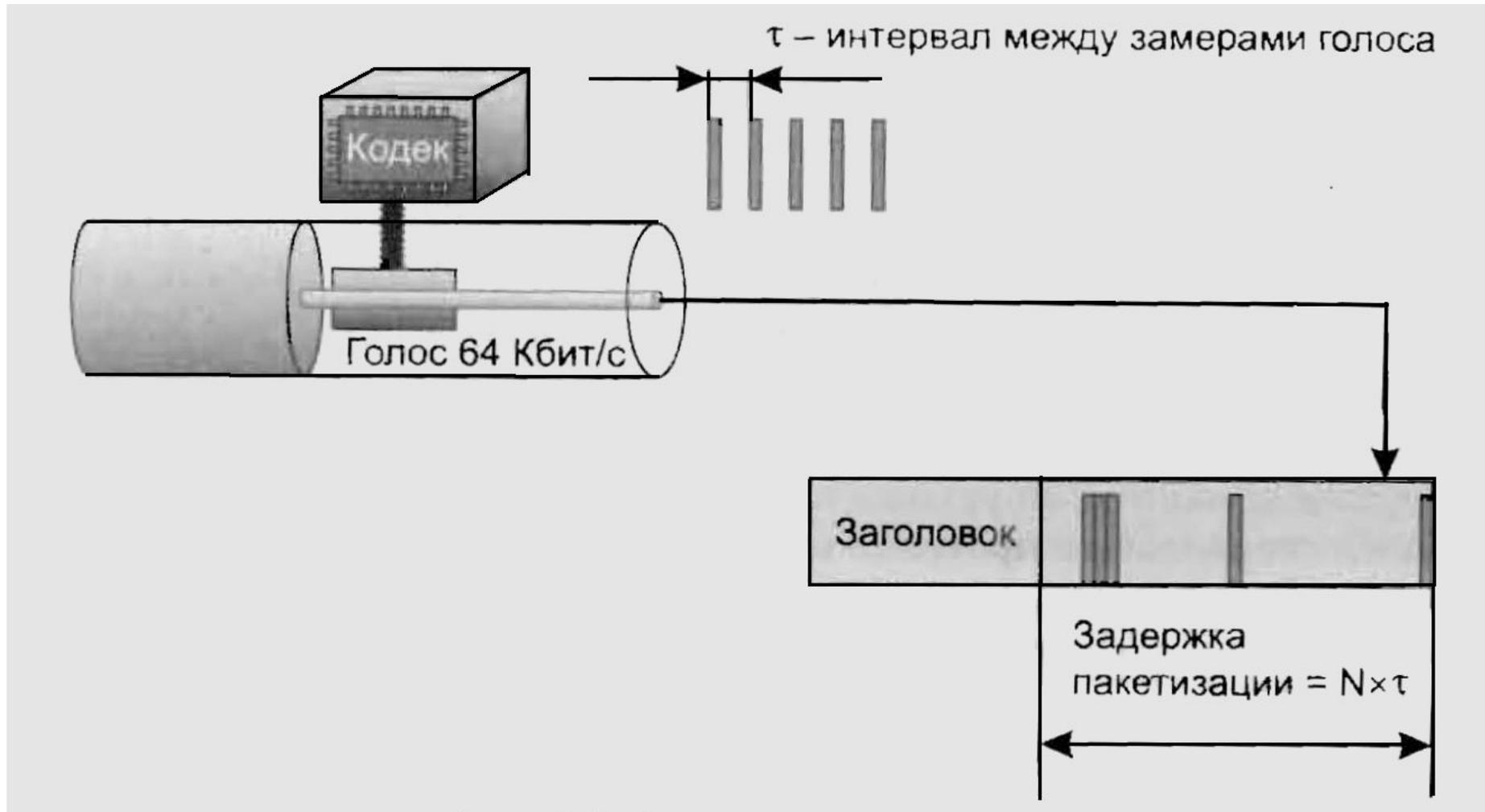
Классы трафика АТМ

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.

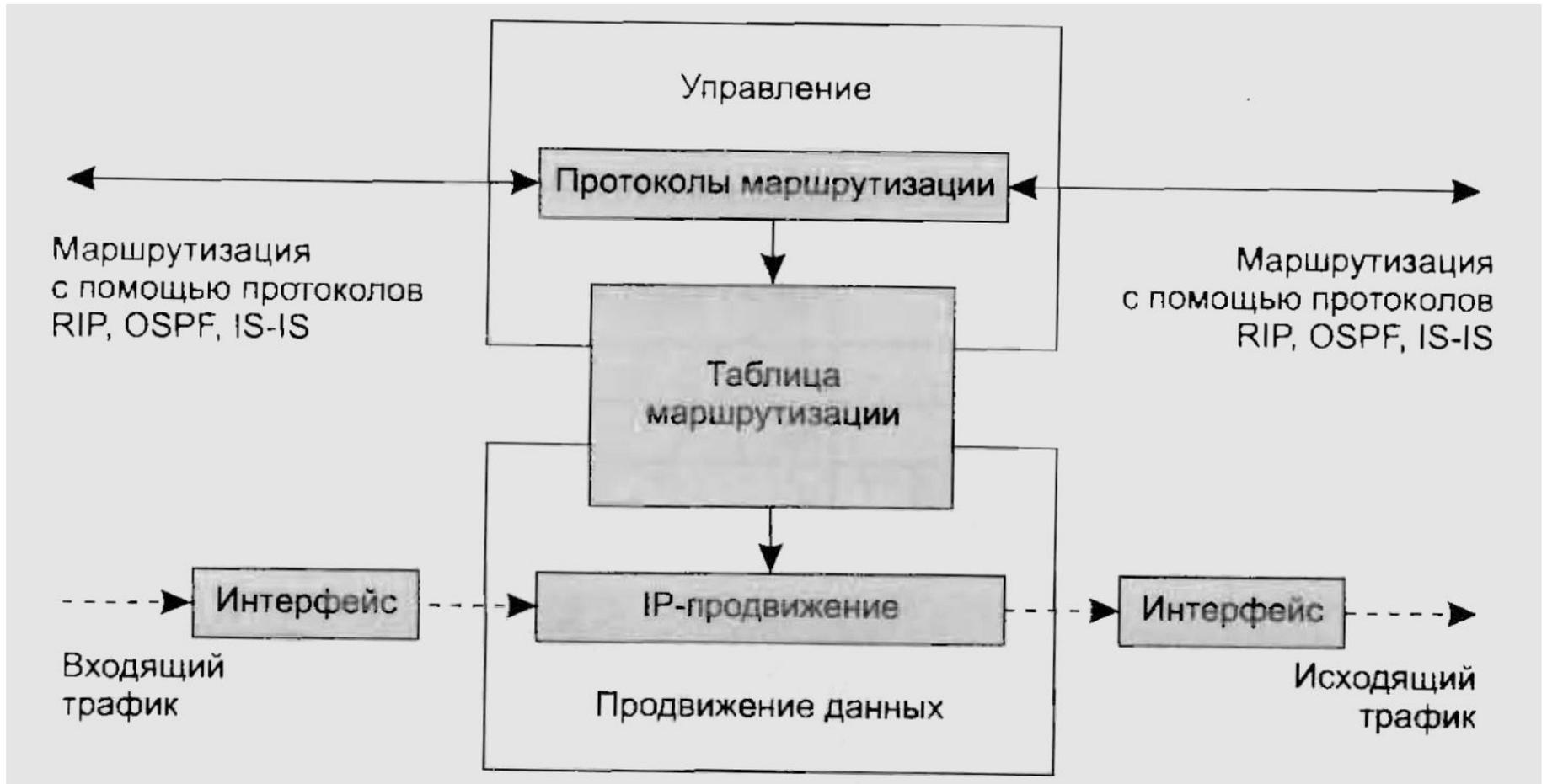
Технология MPLS – многопротокольная коммутация с помощью меток (Multi-Protocol Label Switching)

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

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

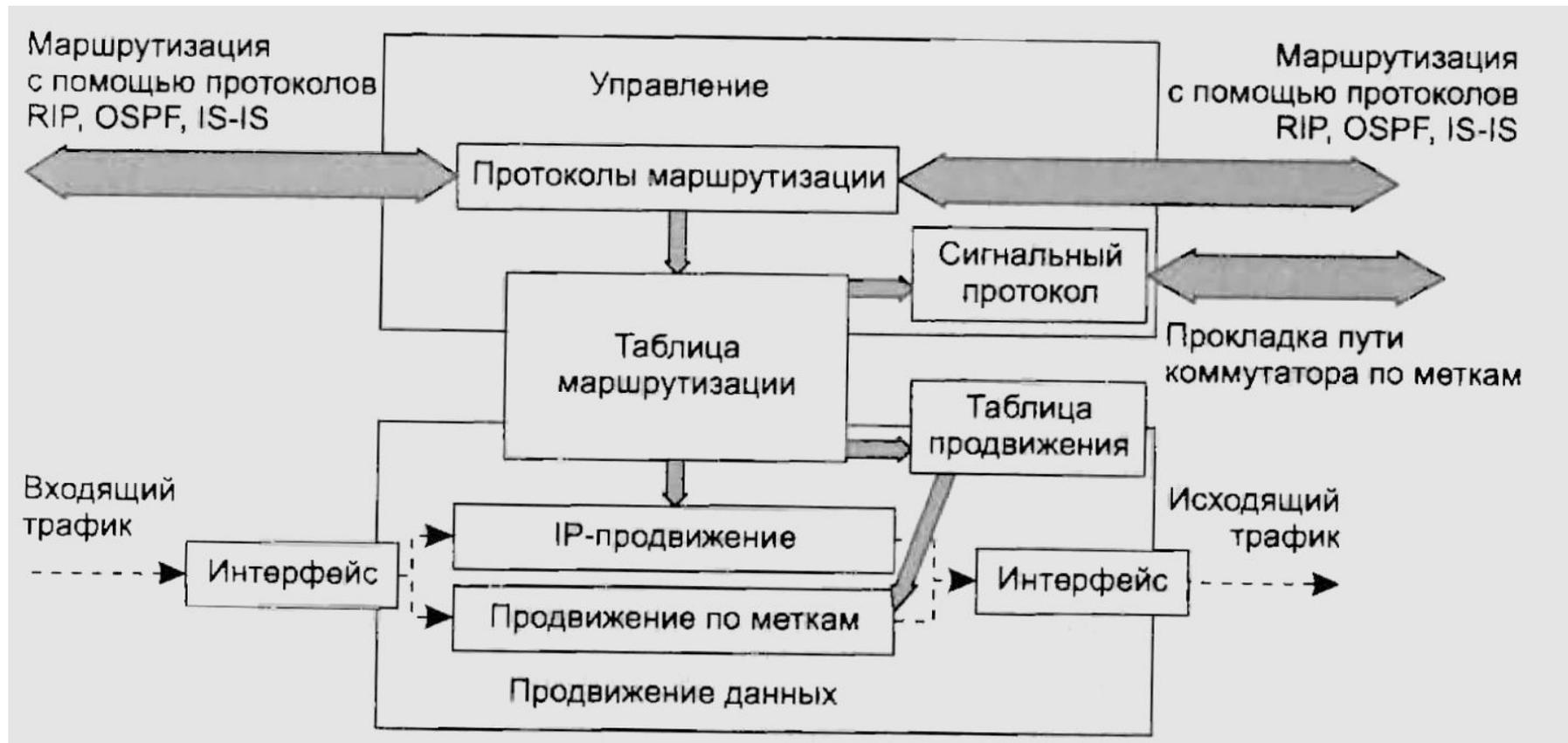
LSR выполняет функции IP-маршрутизатора и коммутатора виртуальных каналов.

LSR и таблица продвижения данных



Архитектура IP-маршрутизатора

LSR и таблица продвижения данных



Архитектура LSR

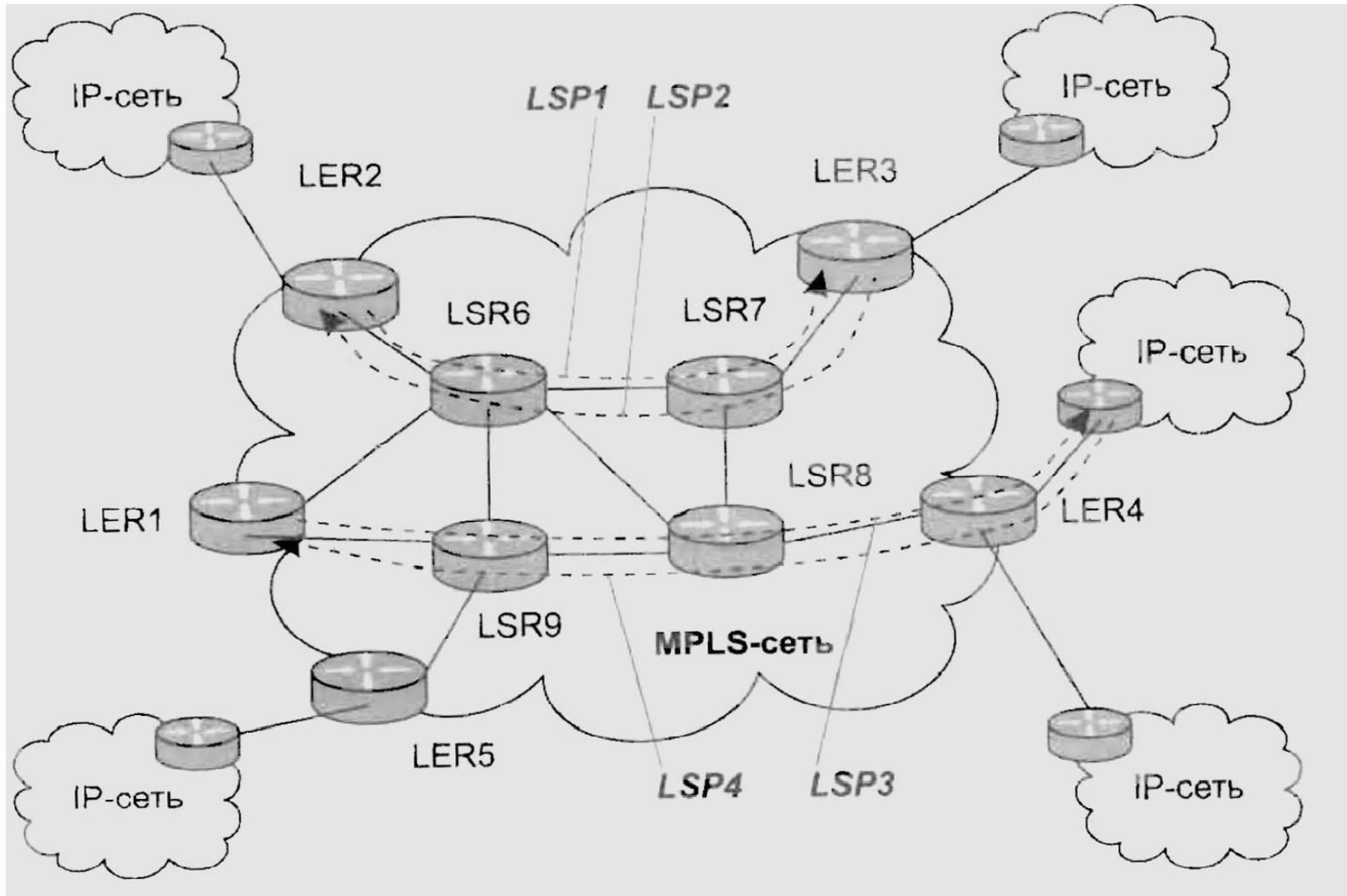
Пример таблицы продвижения в технологии MPLS

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.

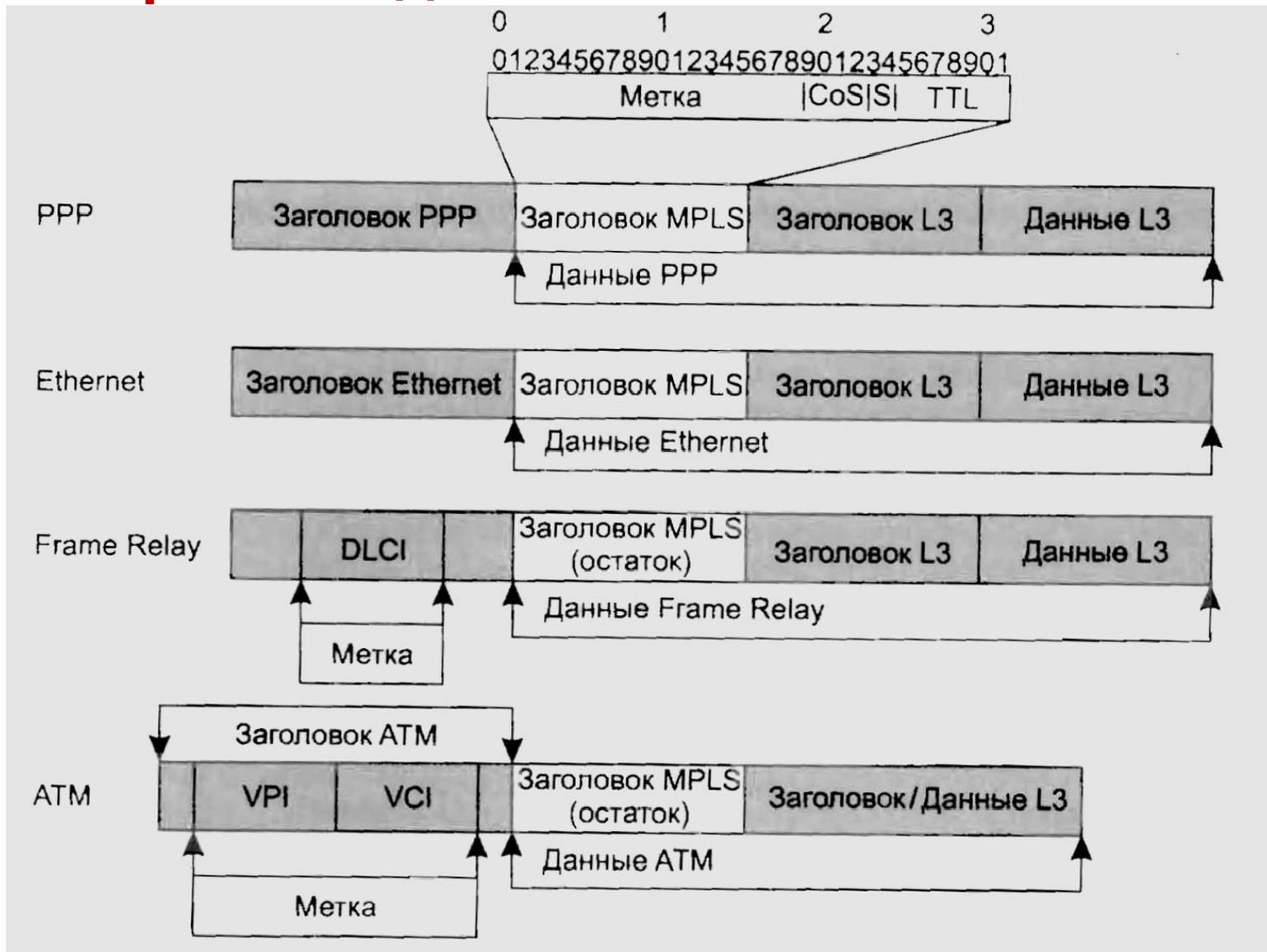
Критерии выбора пути:

- 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

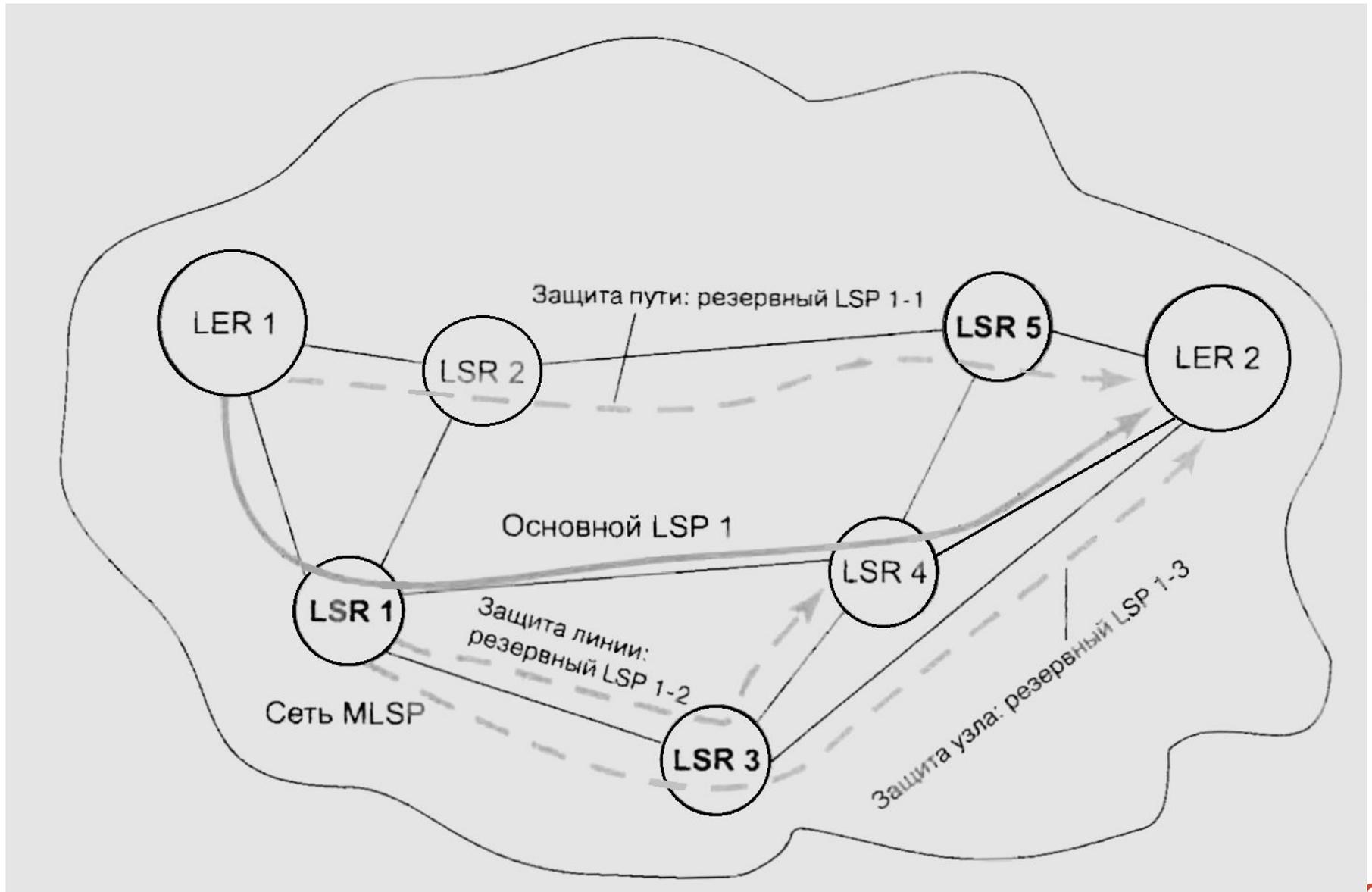


Отказоустойчивость MPLS

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.

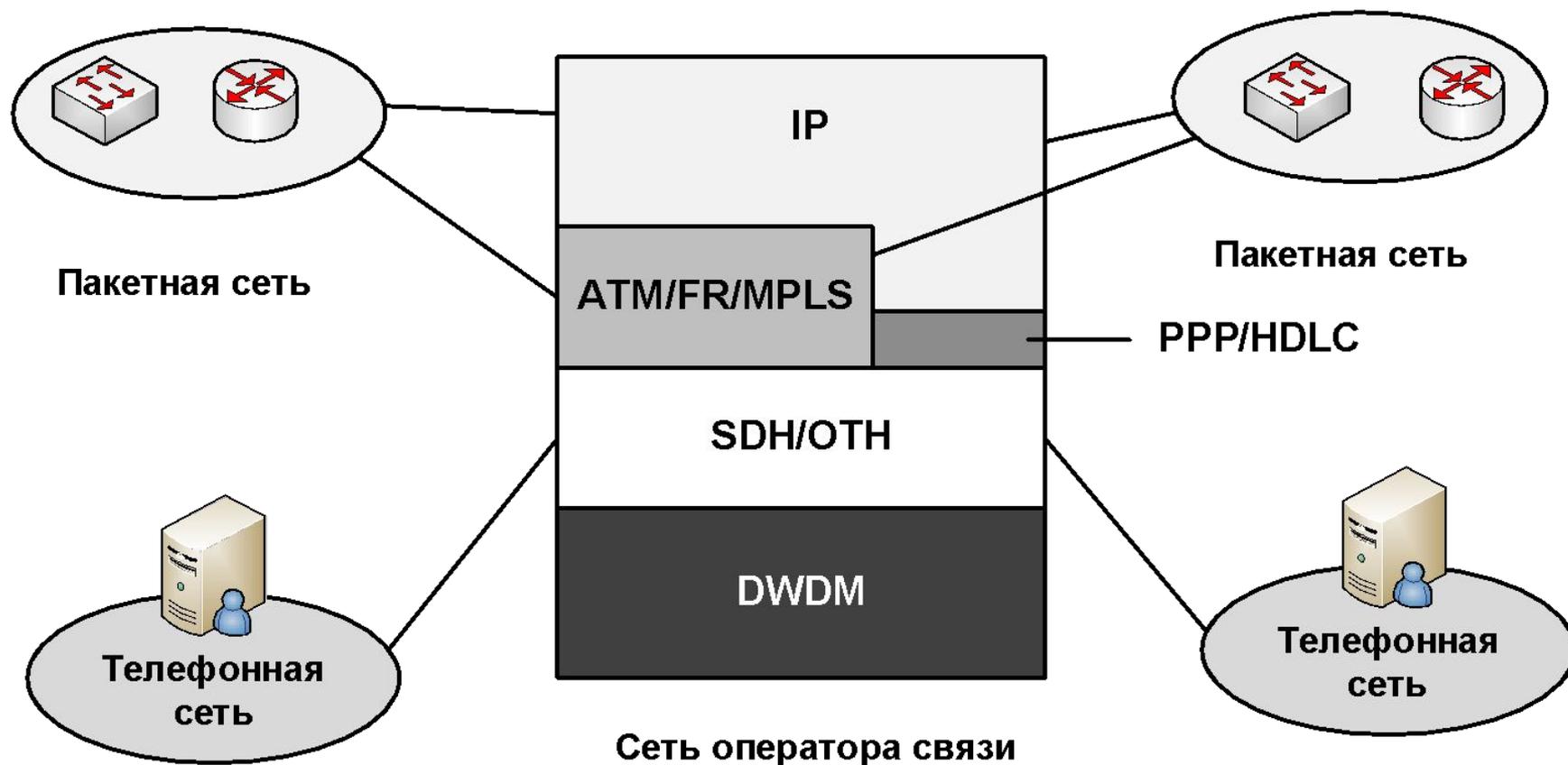
Механизмы отказоустойчивости сетей MPLS



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.

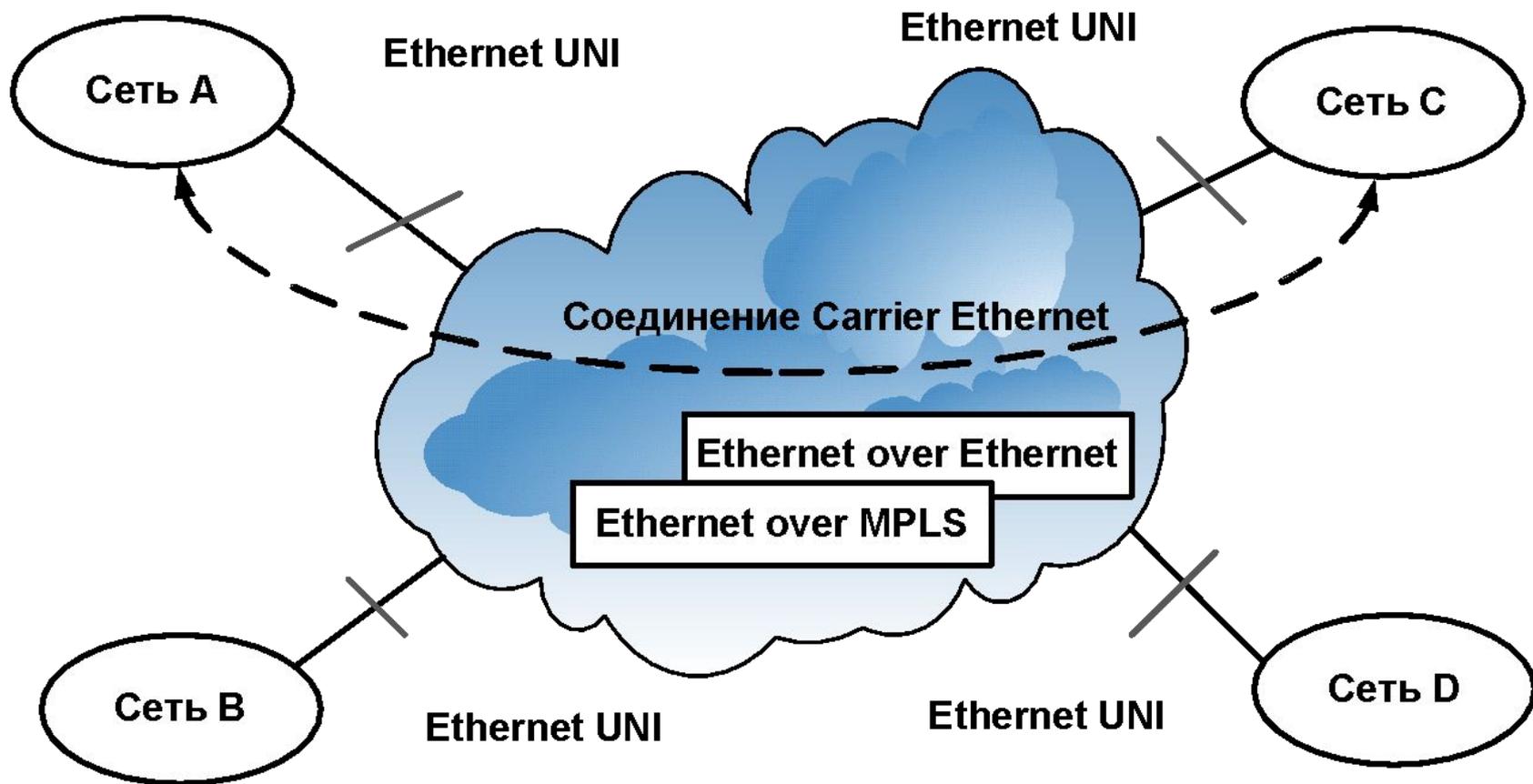
Carrier Ethernet – Ethernet операторского класса

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:

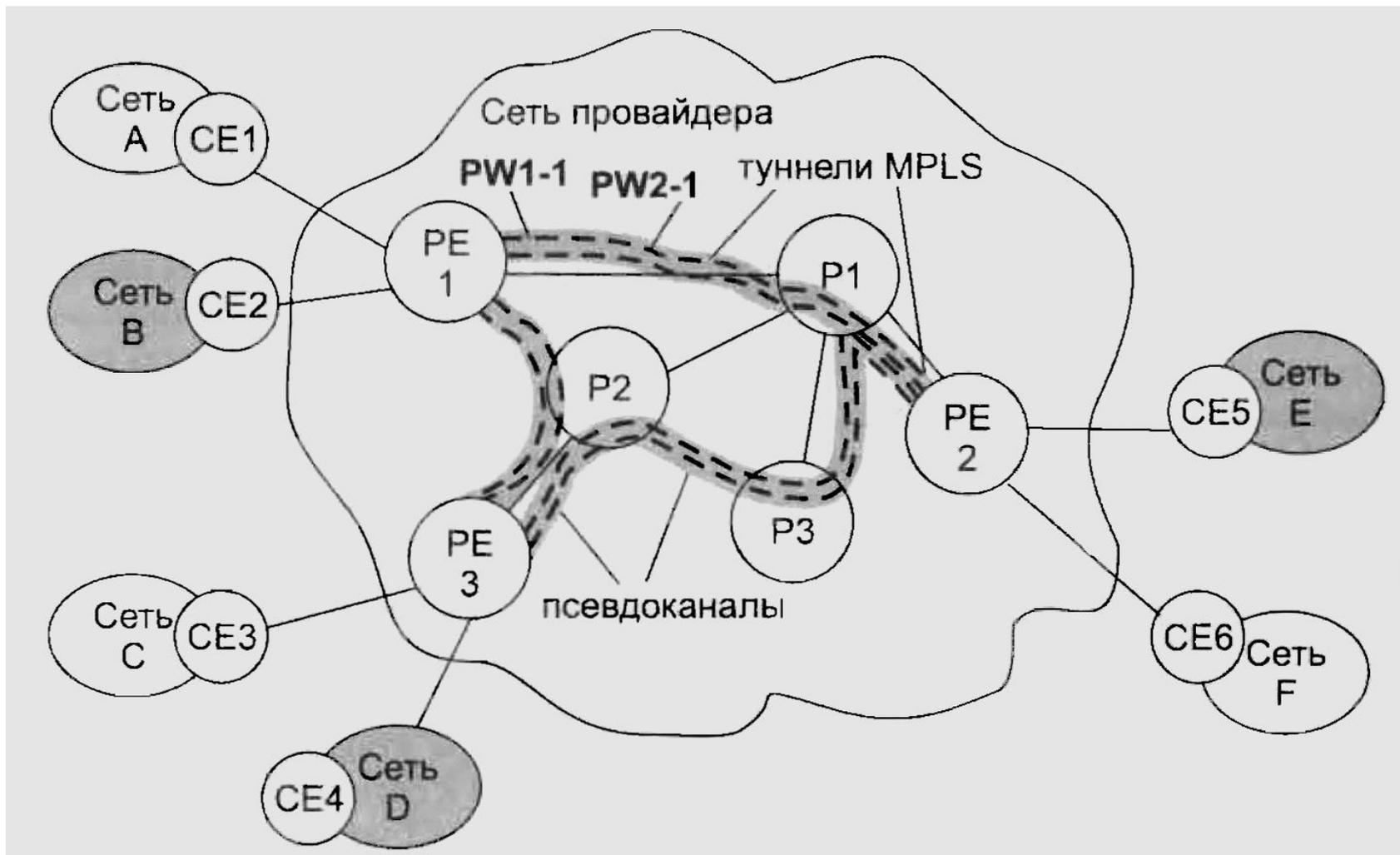
- возможность соединения своих территориально рассредоточенных сетей привычным способом, т.е. на уровне Ethernet-коммутаторов;
- низкая стоимость портов оборудования Ethernet;
- стремление к унификации в глобальных сетях.

Различные варианты реализации услуги Carrier Ethernet



Ethernet UNI - стандартный интерфейс Ethernet

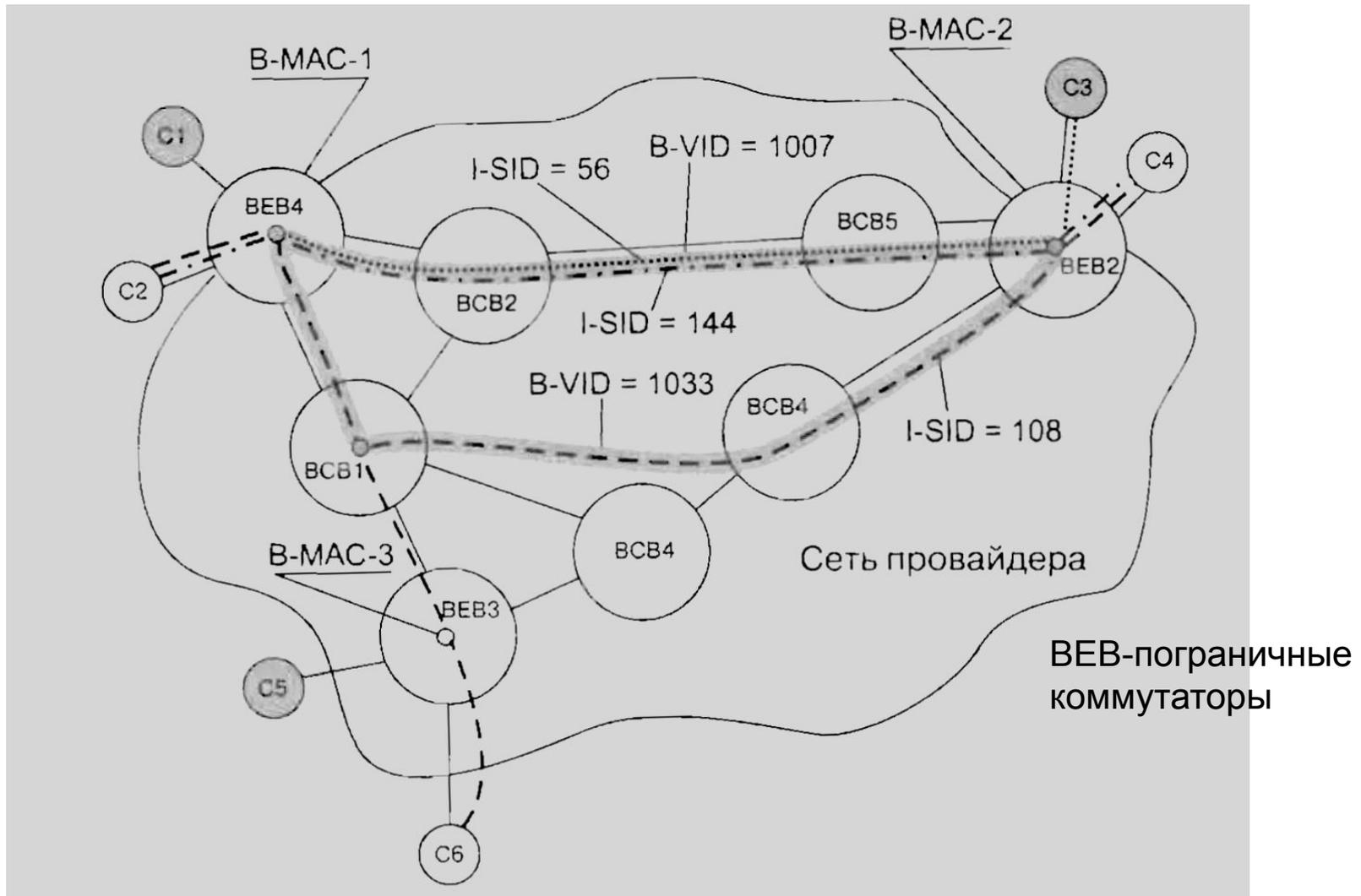
Ethernet на основе MPLS. Услуга VPLS



CE – пограничное устройство сети клиента,

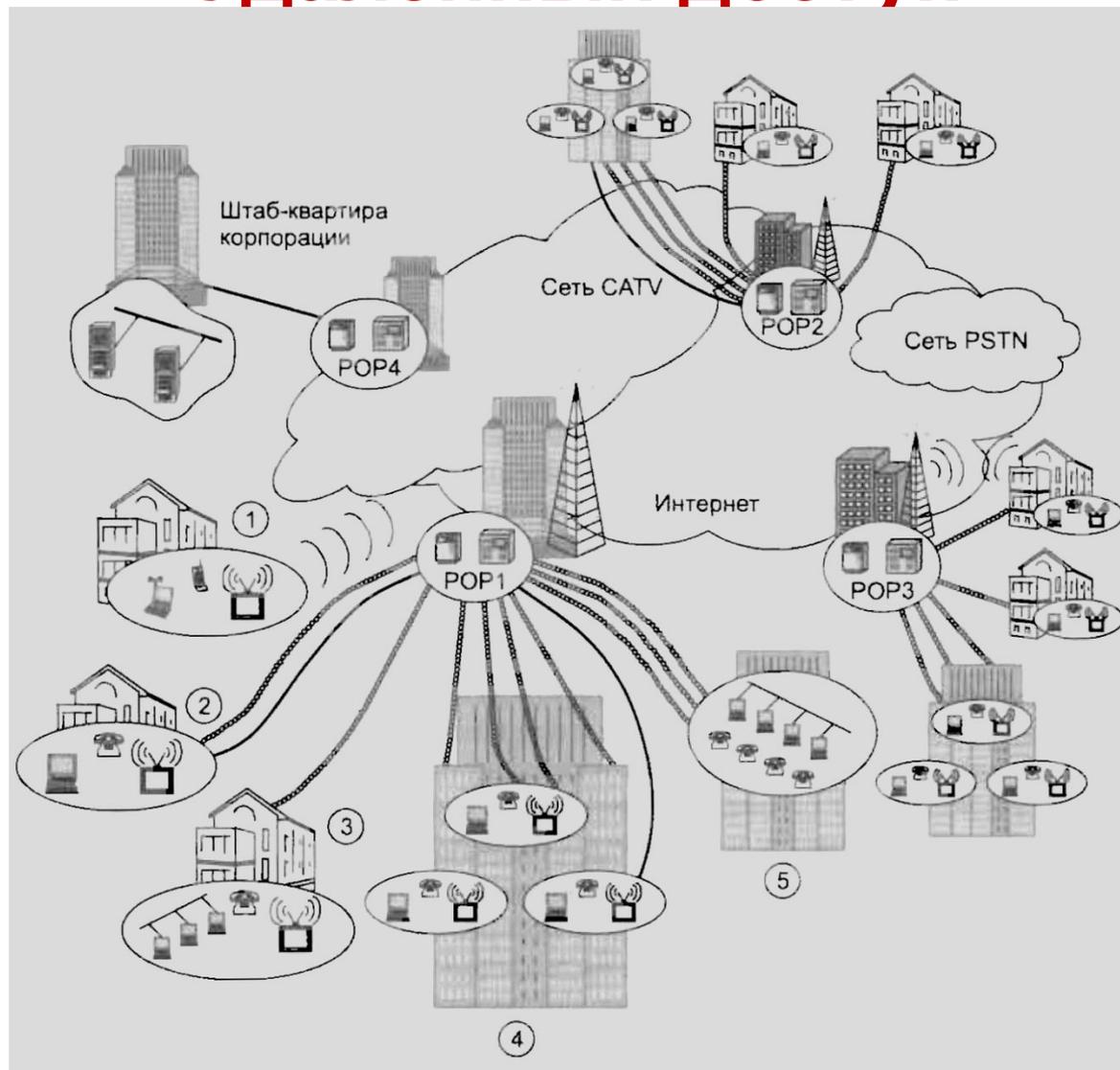
PE (LER) – пограничный маршрутизатор провайдера услуги.

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