

# Первичные сети

- - создать постоянный P2P-канал поверх коммутируемой инфраструктуры
- - только транспортные услуги
- - коммутация каналов (высокая скорость, расстояние), мультиплексирование, конвертация

#### Поколения технологий первичных сетей:

- - плезиохронная цифровая иерархия (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH);
  - - TDM, цифровые данные, иерархия скоростей
- - синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH, SONET);
  - - TDM, поверх PHD
- - уплотненное волновое мультиплексирование (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM);
  - - волновой канал для SDH
- - оптические транспортные сети (Optical Transport Network, OTN)
  - GEthernet/SHD через DWDM-каналы

# Сети PDH

- - 60-е, AT&T
- - заменили устаревшие FDM (телефония)
- - "почти" синхронные
- - G.700-G.706 ITU-T, ANSI T1.x

# Мультиплексор T-1

- - оцифровка и коммутация 24 абонентов
  - - поочередная передача 1 байта абонента + бит синхронизации
- - абонентский канал 64Кбит/с
- - сигнальный протокол -- "кража бита" для передачи служебной информации о типе данных
- - бит-стаффинг -- вставка в объединенный кадр бита-заполнителя при нехватке из-за рассинхронизации

# Система Т-каналов

- иерархия скоростей:  $T-1$ ,  $T-2 = 4 * T-1$ ,  $T-3 = 7 * T-2$ ,  $T-4 = 6 * T-3$

Таблица 10.1. Иерархия цифровых скоростей

ANSI	Америка Япония, Канада			ITU-T (Европа)		
	обозначение скорости	количество голосовых каналов	количество каналов предыдущего уровня	количество голосовых каналов	количество каналов предыдущего уровня	скорость, Мбит/с
	DS-0	1	1	1	1	64 Кбит/с
	DS-1	24	24	30	30	2,048
	DS-2	96	4	120	4	8,488
	DS-3	672	7	480	4	34,368
	DS-4	4032	6	1920	4	139,264

На практике в основном используются каналы T-1/E-1 и T-3/E-3.

# Синхронизация

- - ITU-T G.810
- - иерархия эталонных источников синхросигналов
- Первичный эталонный генератор (ПЭГ, Primary Reference Clock)
  - - магистральные узлы, stratum 1
  - - точность  $10^{-11}$
  - - тактовая частота на уровне DS1
- Вторичный задающий генератор (ВЗГ, SRC)
  - - stratum 2
  - - принудительно синхронизируется по иерархии ПЭГ/ВЗГ
  - - точность  $10^{-9}$

# Недостатки PND

- - не-сквозное извлечение данных
- - нет средств обеспечения отказоустойчивости и администрирования
- - низкие скорости 139 Мбит/с

# Сети SONET/SDH

- - 1984, ANSI T-1, ITU-T, ETSI, телекоммуникационные компании
- - передача трафика PDH по волоконно-оптическим кабелям
- - продолжение иерархии скоростей

**Таблица 10.2.** Иерархия скоростей SONET/SDH

SDH	SONET	Скорость
	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	OC-18	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

Synchronous Transport Module level N (STM-N) STS-N (Synchronous Transport Signal level N)  
OC-N (Optical Carrier level N)



# Мультиплексор

Таблица коммутации мультиплексоров SHD (кросс-соединений):  
Порт - VC - Порт

- цифровые кросс коннекторы (Digital Cross-Connect, DXC)
- регенераторы сигналов

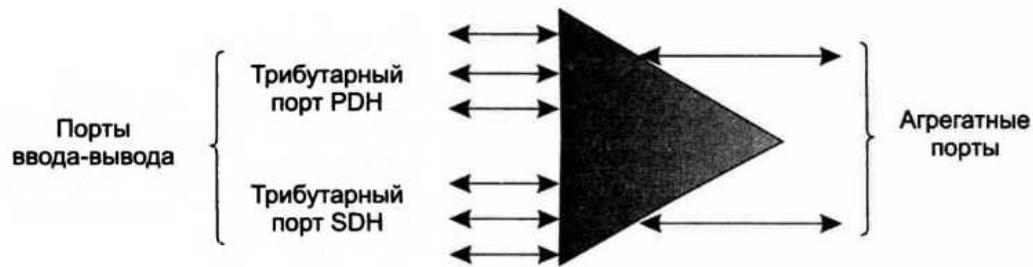


Рис. 10.3. Мультиплексор SDH

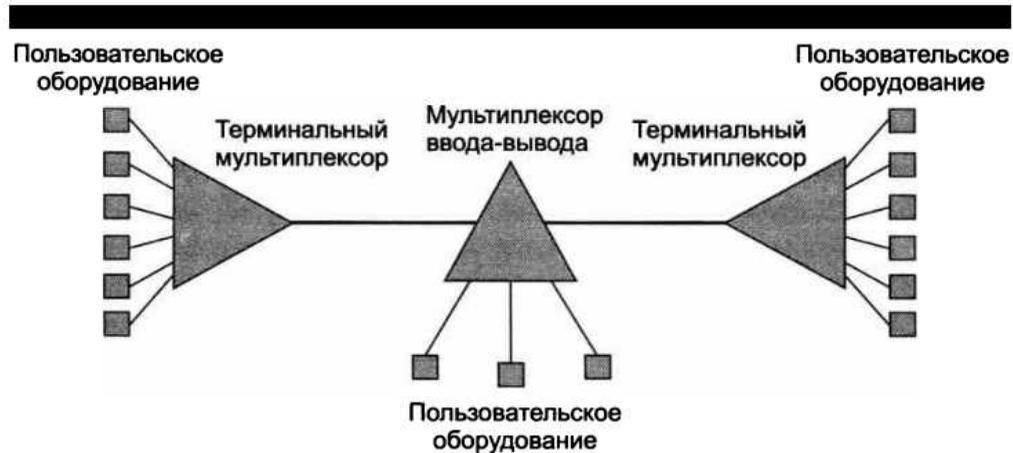


Рис. 10.4. Типы мультиплексоров SDH

- ## Топология
- - кольцо
  - - цепь
  - - плоское кольцо
  - - ячеистая

# Обеспечение надежности

- - 10мс
- автоматическое защитное переключение
  - - переключение на резерв
  - 1+1 - дублирование
  - 1:1 - резерв 1
  - 1:N - 1 резервный на N

## Защищаемый элемент

- Защита мультиплексной секции (Multiplex Section Protection, MSP)
  - - связь между мультиплексорами)
  - - одно/двухнаправленное переключение на защитный канал
- Защита сетевого соединения (Sub-Network Connection Protection, SNC-P)
  - - путь трафика
  - - дублирование потоков, выбор наилучшего
- Разделяемая защита мультиплексной секции в кольцевой топологии (Multiplex Section Shared Protection Ring, MS-SPRing)
  - - пропускная способность
  - - динамическое выделение резервной полосы

# Новое поколение SDH

## SDH

- - ориентирована на голосовой трафик
- - потоки кратные 64Кбит/с и 4

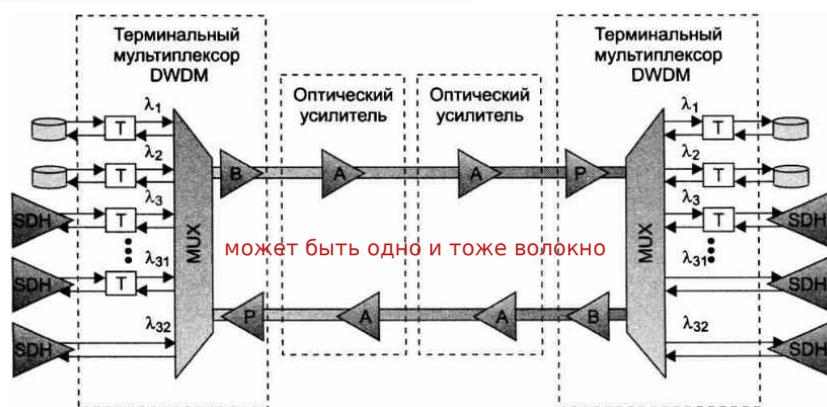
## SDH NG

- - виртуальная конкатенация (VCAT)
  - - объединение однотипных VC-N в VC-N-Mv
  - - передача трафика с нужной пропускной способностью
- - схема динамического изменения пропускной способности линии (LCAS);
  - - динамическое формирование объединенного контейнера
- - общая процедура инкапсуляции (кадрирования) данных (GFP)
  - - выравнивание скорости протокола и контейнера
    - GFP-F (кадровый) - буферизация по кадрам
    - GFP-T (прозрачный)- побитная передача с нужной скоростью
  - - распознавание начала кадра
    - - специальный заголовок GFP

# Сети DWDM

- - развитие WaveDM
- - передача по оптическим магистралям нового поколения на мульти-, тера-гигабитных скоростях
- - параллельная передача разными длинами волны - спектральный канал
- - не зависит от протокола и способа кодирования
- - ITU-T G.694.1
- - 1 волна до 100Гбит/с. 40 волн при частотном плане 100ГГц, 80 для 50, и.т.д. для 25, 12.5 ГГц

# Топологии



Оборудование компьютерной сети (маршрутизаторы, коммутаторы)

Рис. 10.9. Сверхдальняя двухточечная связь на основе терминальных мультиплексоров DWDM

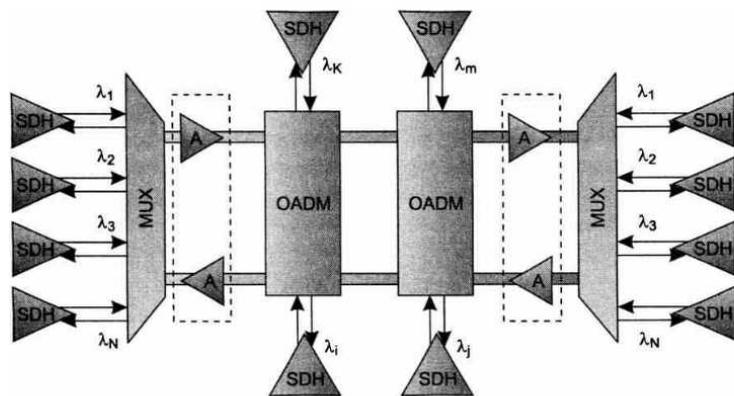


Рис. 10.10. Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах

- Мультиплексор (**MUX**)
- Транспондер (transmitter-responder) - преобразует электрический в оптический (**T**)
- Волоконно-оптические усилители - усиливают световые сигналы
- Устройства компенсации дисперсии - устранение искажения формы светового сигнала
- Оптические мультиплексоры ввода-вывода (Optical Add-Drop Multiplexer, **OADM**) - вводят/выводят волновые каналы без изменения спектра
- оптические кросс-коннекторы (Optical Cross-Connector, **OXC**) - произвольная коммутация волновых каналов

-- кольцевая  
-- ячеистая

# Недостатки DWDM

- - использует SDH для модуляции или кодирования двоичных данных, а также для механизма контроля корректности данных, исправления битовых ошибок, обеспечения отказоустойчивости, оповещения пользователя о состоянии соединения и т. п
- - «мелкие» единицы коммутации для магистральных сетей
- - не учитываются особенности трафика различных типов

# Сети OTN

- - основаны на SDH
- - иерархия скоростей кратная 4 начиная с 2.5Гбит/с
- - синхронные и асинхронные потоки

**Таблица 10.3.** Иерархия скоростей технологии OTN

Интерфейс G.709	Битовая скорость кадров OTN (Гбит/с)	Клиентский кадр	Битовая скорость клиента (Гбит/с)
OTU1	2,666	STM-16	2,488
OTU2	10,709	STM-64	9,953
OTU3	43,018	STM-256	39,813
OTU4	111,8	100G Ethernet	100

# Стек протоколов OTN

- Optical channel Payload Unit (OPU) - инкапсуляция данных в OPU, выравнивание скоростей
- Optical channel Data Unit (ODU) - мультиплексирование OPU, мониторинг качества
- Optical channel Transport Unit (OTU) - retiming, reshaping, regeneration между соседними узлами, контроль и исправление ошибок FEC
- оптический канал (Och) - спектральный канал DWDM

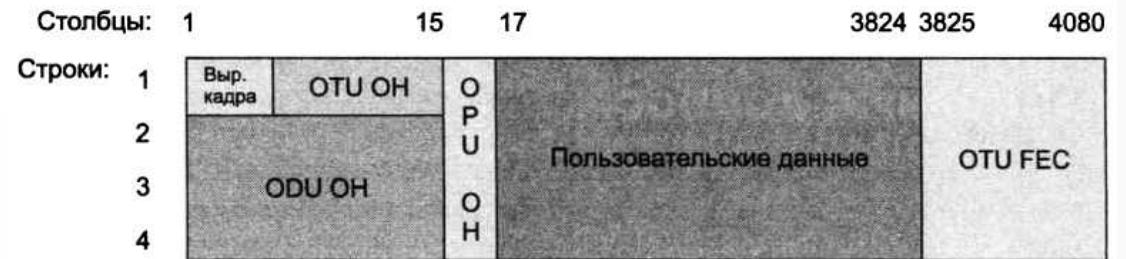


Рис. 10.18. Формат кадра OTN

# Выравнивание скоростей

- режим нагрузки
  - синхронного отображения нагрузки (Synchronous Bit Mapping, SBM) -- синхроимпульсы (спец.биты) в кадрах
  - асинхронного отображения нагрузки (Asynchronous Bit Mapping, ABM) -- собственная синхронизация
- байт возможности положительного выравнивания (Positive Justification Opportunity, PJO) -- заполнитель, если не хватает скорости абонента
- байт возможности отрицательного выравнивания (Negative Justification Opportunity, NJO) -- "лишний/быстрый" байт данных
- два бита поля управления выравниванием (Justification Control, JC) - указывают использование байтов выравнивания

# Мультиплексирование

- - OPU\_k последовательно упаковывается в трибутарные слоты фрейма OPU\_k+1
- - дополнение блоками для мультиплексирования по типу данных
- - гибкое мультиплексирование
  - блок ODUflex с произвольной битовой скоростью
  - процедура обобщенного отображения нагрузки (Generic Bit Mapping, GMP)- вычисляет позиции байтов заполнителей
    - - алгоритм Сигма/Дельта - равномерное заполнение избыточного поля

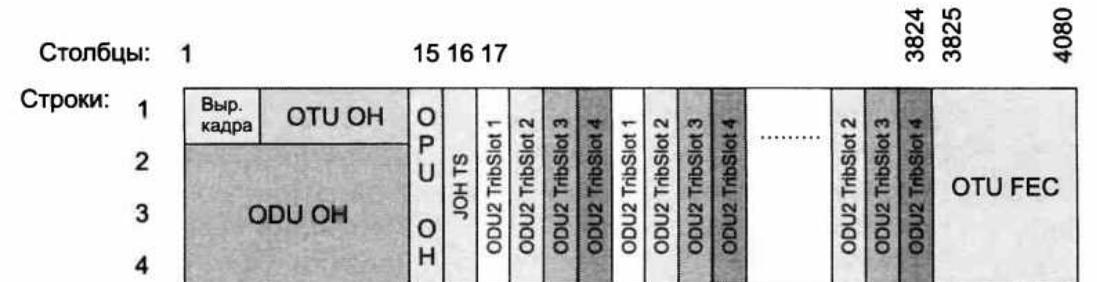


Рис. 10.19. Мультиплексирование блоков ODU1 в блок ODU2

# Высокие скорости

- Коррекция ошибок FEC
  - - на основе кода Рида-Соломона(255,239)
  - - исправляет 8 ошибочных байтов
- 100Гбит/с
  - - кодирование интенсивностью света (IDMM) проблематично: быстроедействие, шумы (дисперсия, поляризация)
  - - поляризационное мультиплексирование с квадратурно-фазовой манипуляцией (PM-QPSK)
  - - когерентное распознавание (coherent detection) - добавление уровня с длиной волны принимаемого сигнала + узкополосный фильтр
- 1Тбит/с
  - - более сложные форматы модуляции (PM-8,16,32,64QAM)
  - - суперканал DWDM - логический канал с плотноупакованными поднесущими
  - - гибкие частотные планы- выделение каналу требуемой полосы