

Цифровые сети связи

Модуль 5

Содержание

- ❑ Основы технологии цифровой передачи данных
- ❑ Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем (Open systems interconnection basic reference model)
- ❑ Методы мультиплексирования.
- ❑ Иерархии цифровых систем передачи (ЦСП)
- ❑ Технологии передачи информации для транспортных сетей
- ❑ Широкополосная цифровая сеть с интеграцией услуг (Broadband Integrated Services Digital Network - BISDN)
- ❑ Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети
- ❑ Технологии передачи информации в сетях доступа

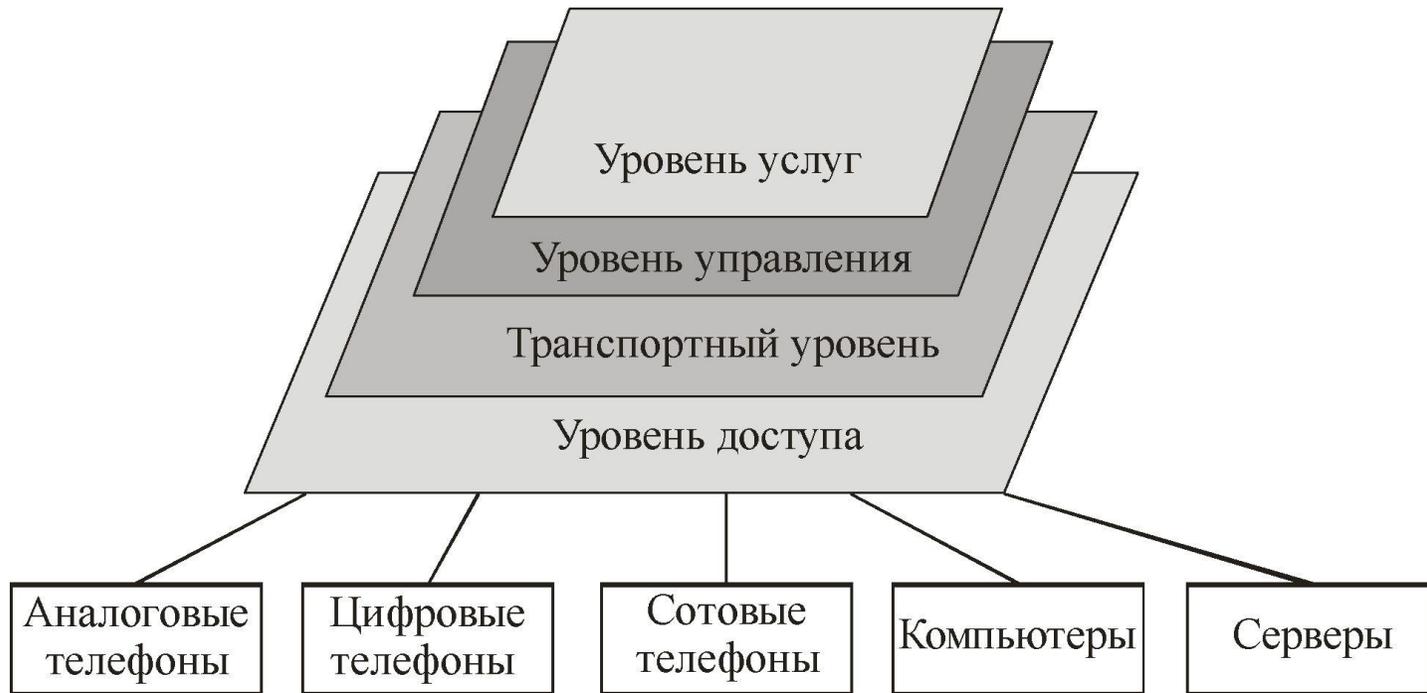
ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

4 этапа развития сетей и услуг связи

- ❑ **Первый этап** – построение аналоговой телефонной сети общего пользования PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Телефонная сеть общего пользования ТфОП.
- ❑ **Второй этап** - интегральные цифровые сети IDN (*Integrated Digital Network*). Услуги телефонной связи на базе цифровых систем коммутации и передачи данных.
- ❑ **Третий этап** - цифровые сети с интеграцией служб ISDN (*Integrated Service Digital Network*). Пользователю этой сети предоставляется базовый доступ (2B + D), по которому информация передается по трем цифровым каналам: два канала B со скоростью передачи 64 кбит/с и канал D со скоростью 16 кбит/с. Каналы B используются для передачи речевых сообщений и данных, канал D – для сигнализации и для передачи данных в режиме пакетной коммутации.
- ❑ **Четвертый этап** – интеллектуальная сеть IN (*Intelligent Network*). Принципиальное отличие интеллектуальной сети от предшествующих сетей – гибкость и экономичность предоставления услуг. Необходимая услуга предоставляется пользователю тогда, когда она ему требуется и в тот момент времени, когда она ему нужна.

Цифровые первичные сети, являющиеся базовыми транспортными или магистральными, служат основой для построения сетей связи с интеграцией услуг (ССИУ) МЧС России.

Сети следующего поколения (Next Generation Network - NGN)



В таких сетях используют коммутацию пакетов для передачи всех видов трафика:

- аудио-сигналов (IP-телефония),
- видео-информации,
- компьютерных данных.

Поэтому эти сети называют **мультисервисными** (Internet Multi Service - **IMS**) в отличие от ранее существовавших моносервисных сетей.

В сетях NGN обеспечивается **слияние (конвергенция)** всех существующих сетей в единую информационную сеть для передачи мультимедийной информации. Пользователи такой сети должны иметь широкий выбор услуг с гарантированным качеством, что обеспечивается соответствующим уровнем управления, транспортным уровнем и уровнем доступа пользователей к мультисервисной сети

Поскольку в сети NGN передается трафик различного вида, то и требования к качеству

Принципы планирования транспортных сетей связи

- определение общей стратегии построения и использования (возможность двойного применения и т.п.) сети;
- планирование сети на длительную перспективу с учетом ее развития;
- комплексное применение современных сетевых технологий;
- учет специальных условий и требований МЧС России;
- обеспечение необходимого уровня эксплуатации планируемой сети.

Основные этапы планирования цифровых сетей связи

- ✓ определение существующей и планируемой загрузки (объема трафика);
- ✓ определение возможности двойного применения;
- ✓ определение объемов трафика по типу и распределению (составление матрицы распределения трафика для всех узлов сети);
- ✓ определение видов предоставляемых услуг;
- ✓ выбор среды передачи;
- ✓ определение базовых сетевых технологий;
- ✓ выбор базовых вариантов архитектуры и топологии сети;
- ✓ определение необходимых значений уровня надежности и степени резервирования;
- ✓ оптимизация топологии;
- ✓ сопряжение сети с другими сетями;
- ✓ планирование управления и синхронизации;
- ✓ планирование системы эксплуатационно-технического обслуживания;
- ✓ оптимизация сети по стоимостным и качественным характеристикам.

Планирование цифровых сетей связи

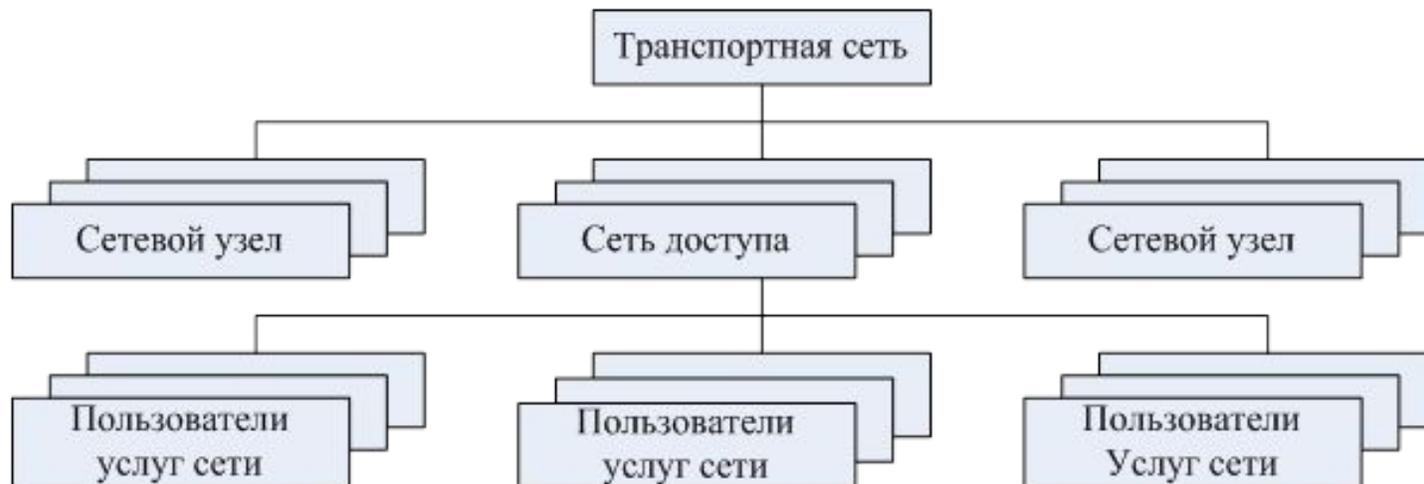
Главные цели перспективного планирования ЦСС:

- ✓ оптимизация сетевой структуры,
- ✓ расчет будущих затрат на построение сети

Планирование нагрузки и оптимизация структуры сети включает:

- ✓ задание матрицы исходящего/входящего трафика для всех узлов сети,
- ✓ определение матрицы передачи (распределения) трафика между узлами в потоках Е1 (2 Мбит/с),
- ✓ определение емкости и базовых скоростей передачи транспортных магистралей и всей сети в потоках синхронных транспортных модулей (Synchronous Transport Module, STM-N, $N=1,4,16,\dots$),
- ✓ определение спецификаций на оборудование и аппаратуру для сети.

Архитектура современной цифровой сети

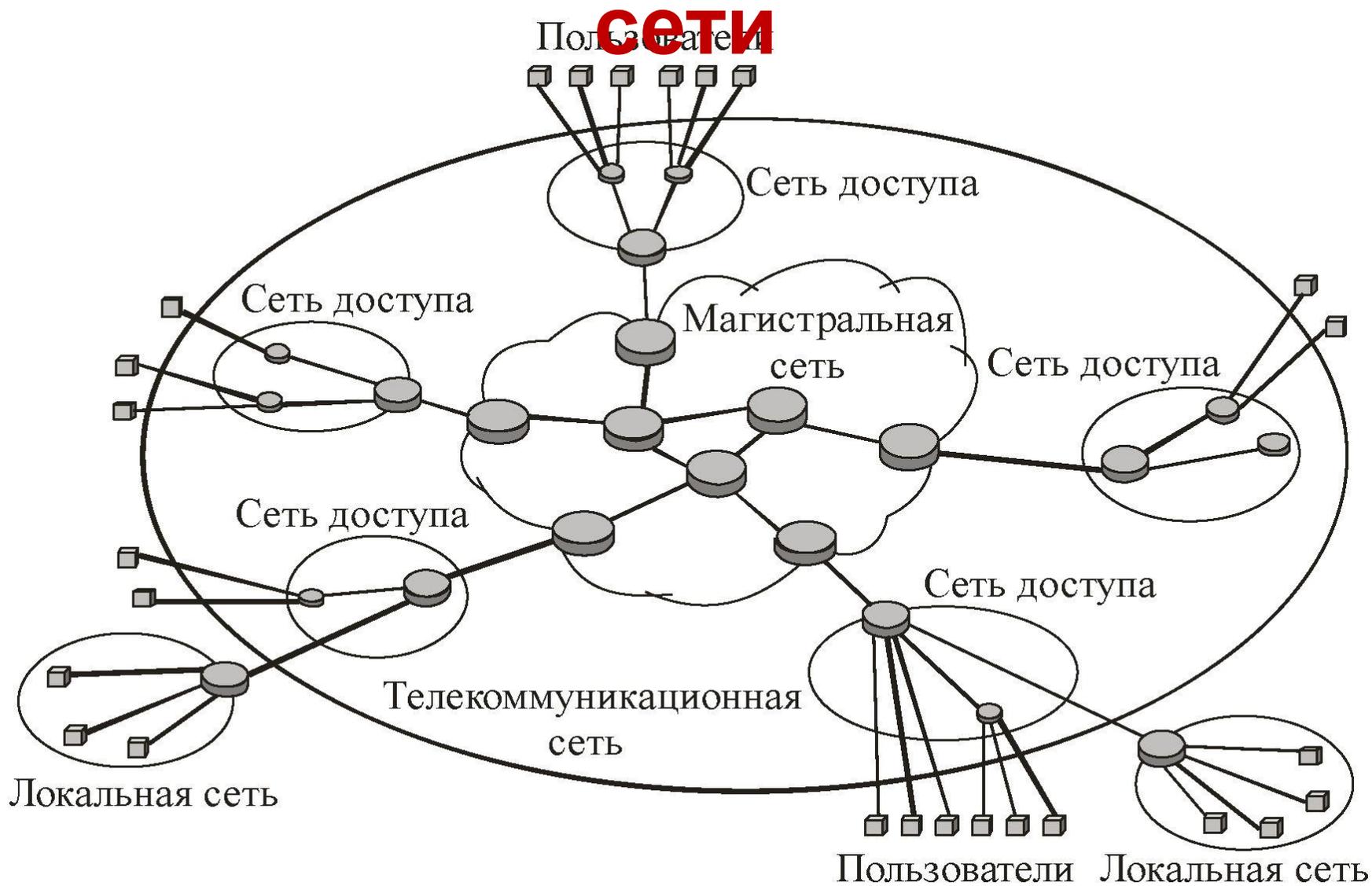


Общая архитектура современной цифровой сети состоит из 2-х частей:

- транспортная сеть - центральная часть сети,
- сеть доступа - периферийной части сети.

Сеть доступа - сеть, по которой с помощью каналов и линий «последней мили» различные специализированные сигналы передаются от потребителей к портам транспортной сети и обратно

Структурная схема телекоммуникационной



ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

ДАННЫХ

- ❑ В аналоговых телефонных сетях предельная скорость передачи информации равна 19200 бит/с.
- ❑ В цифровых системах по обычной телефонной линии можно передать данные со скоростью до 2 Мбит/с.

Использование цифровых каналов для передачи аналоговых сигналов имеет ряд преимуществ:

цифровые сигналы легко поддаются восстановлению, так как требуется распознать только два состояния сигнала (0 и 1);

цифровые сети обеспечивают более высокий уровень защиты от ошибок

Преобразование аналоговых сигналов в цифровые и обратно как в компьютерных сетях, так и в цифровых системах передачи данных выполняется с помощью **кодека**, основными элементами которого являются **аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи**. Это преобразование осуществляется по шагам и состоит из четырех последовательных процессов:

- ❑ фильтрации, дискретизации, квантования и кодирования. Механизм преобразования – импульсно-кодовая модуляция (ИКМ).

- ❑ В целях борьбы со сложностью сеть, как правило, организована в виде иерархии слоев или уровней. В разных сетях число уровней, их название, содержание и функции могут быть разными. Однако, во всех сетях назначение каждого уровня одно и тоже:

- ✓ обеспечить определенный сервис верхним уровням;
- ✓ сделать независимыми эти верхние уровни от деталей реализаций сервиса на нижнем уровне

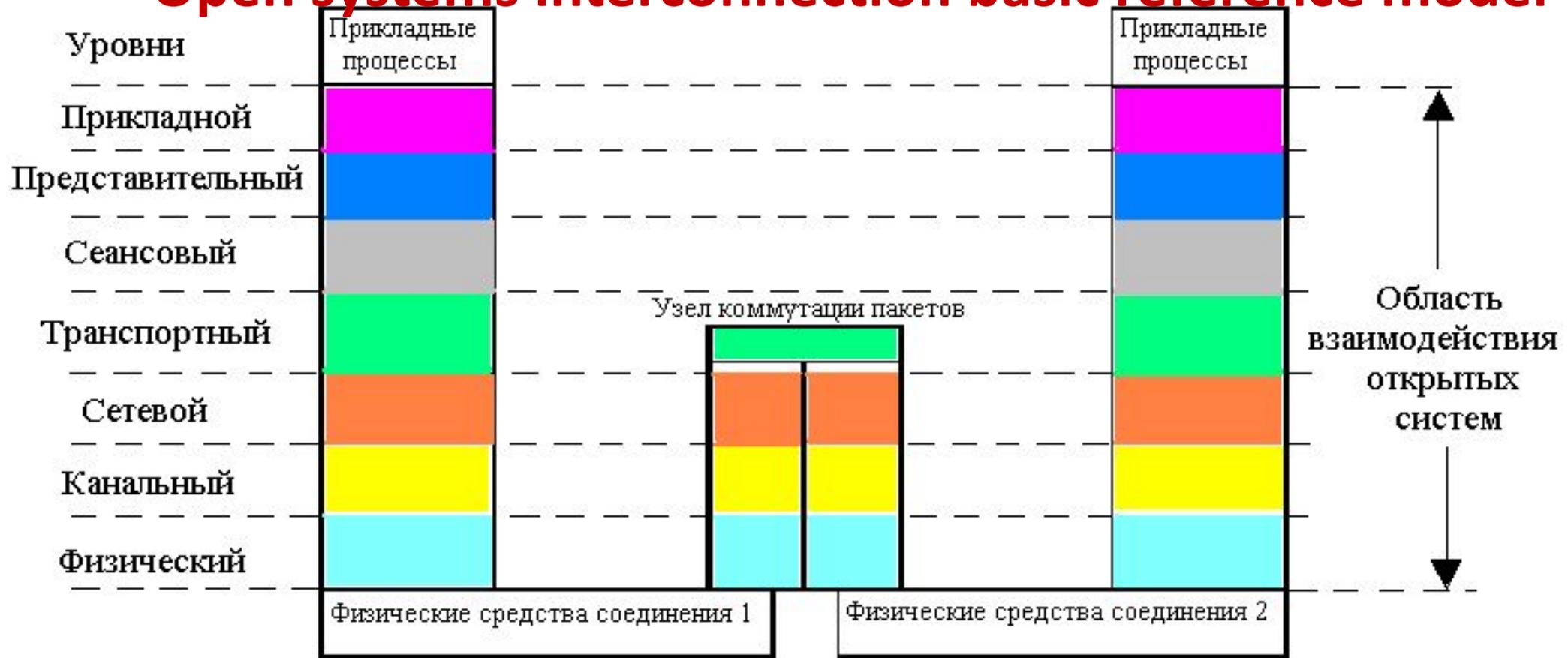
Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

Open systems interconnection basic reference model

- ❑ Для упорядочения разработки архитектуры сети и обеспечения возможности взаимодействия любых цифровых систем Международная Организация по Стандартизации (International Standard Organization – ISO) разработала *Эталонную модель взаимодействия открытых систем (Open System interconnection – OSI)* в начале 80-х годов.
- ❑ В OSI цифровая сеть рассматривается как совокупность функций, которые делятся на группы, называемые *уровнями*. Это позволяет вносить изменения в средства реализации одного уровня без перестройки средств других уровней, что значительно упрощает и удешевляет модернизацию средств по мере развития техники.
- ❑ **Открытая система** - такая система, которая при соблюдении определенных требований (правил открытости) может быть без каких-то дополнений или изменений подключена к другой открытой системе, реализует спецификации на интерфейсы, услуги и форматы данных.
- ❑ **Модель OSI как единый комплекс стандартов является основой для взаимной совместимости оборудования и программ различных поставщиков.**
- ❑ Телекоммуникационные технологии в архитектуре OSI обычно охватывают 4 нижних уровня, где формируются функции:
 - ✓ связи,
 - ✓ формирования блоков/кадров/пакетов,
 - ✓ защита от ошибок,
 - ✓ мультиплексирование соединений.

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

Open systems interconnection basic reference model



Модель взаимодействия открытых систем (ВОС) позволяет обеспечить:

- переносимость прикладных программ с минимальными изменениями на широкий диапазон типов систем;
- взаимодействие с другими приложениями на локальных и удаленных платформах;
- взаимодействие с пользователями, облегчающее им переход от системы к системе.

Базовая эталонная модель взаимодействия ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Open systems interconnection basic reference model



7-й уровень - прикладной (Application): включает средства управления прикладными процессами конечных пользователей. Эти процессы могут объединяться для выполнения поставленных заданий, обмениваться между собой данными. Другими словами, на этом уровне определяются и оформляются в блоки те данные, которые подлежат передаче по сети.

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

Open systems interconnection basic reference model



6-й уровень - представительный (Presentation): реализуются функции представления данных (кодирование, форматирование, структурирование). Этот уровень имеет дело с информацией, а не с потоком битов. Он гарантирует представление данных в кодах и форматах, принятых в данной системе. Например, согласует формы представления информации, (изображение, текст).
Чтобы машины с разной кодировкой (ASCII, Unicode) могли взаимодействовать, структуры данных определяются специальным абстрактным способом, не зависящим от кодировки, используемой при передаче. **6-ой уровень преобразует структуры данных в абстрактной форме во внутреннюю для конкретной машины и из внутреннего, машинного представления в**

Базовая эталонная модель взаимодействия ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Open systems interconnection basic reference model



5-й уровень - сеансовый (Session):

обеспечивает организацию сеансов связи на период взаимодействия сетевых узлов. На этом уровне по запросам в сети создаются **порты** для приема и передачи сообщений и организуются соединения – **логические каналы**.

Базовая эталонная модель взаимодействия ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Open systems interconnection basic reference model



4-й уровень - транспортный (Transport): предназначен для управления логическими каналами в сети передачи данных. Основная функция транспортного уровня это: принять данные с предыдущего уровня, разделить, если надо, на более мелкие единицы, передать на сетевой уровень и позаботиться, чтобы все они дошли в целостности до адресата. На этом уровне обеспечивается связь между оконечными пунктами (чаще всего точка-точка). К функциям транспортного уровня относятся мультиплексирование и демultipлексирование (сборка-разборка пакетов), обнаружение и устранение ошибок в передаче данных, реализация заказанного уровня услуг (например, заказанной скорости и надежности передачи).

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

Open systems interconnection basic reference model



Этот уровень, сетевой (Network), обеспечивает передачу сообщений через магистральную сеть. Основная функция: *маршрутизация пакетов от отправителя к получателю*. На этом уровне происходит формирование пакетов по правилам тех промежуточных сетей, через которые проходит исходный пакет, и *маршрутизация* пакетов, т.е. определение и реализация маршрутов, по которым передаются пакеты. Маршруты могут быть определены заранее и прописаны в статической таблице, могут определяться в момент установления соединения, могут строиться динамически в зависимости от загрузки сети. Важной функцией сетевого уровня является контроль нагрузки на сеть с целью предотвращения перегрузок. Если в подсети циркулирует слишком много пакетов, то они могут использовать одни и те же маршруты, что

Базовая эталонная модель взаимодействия ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

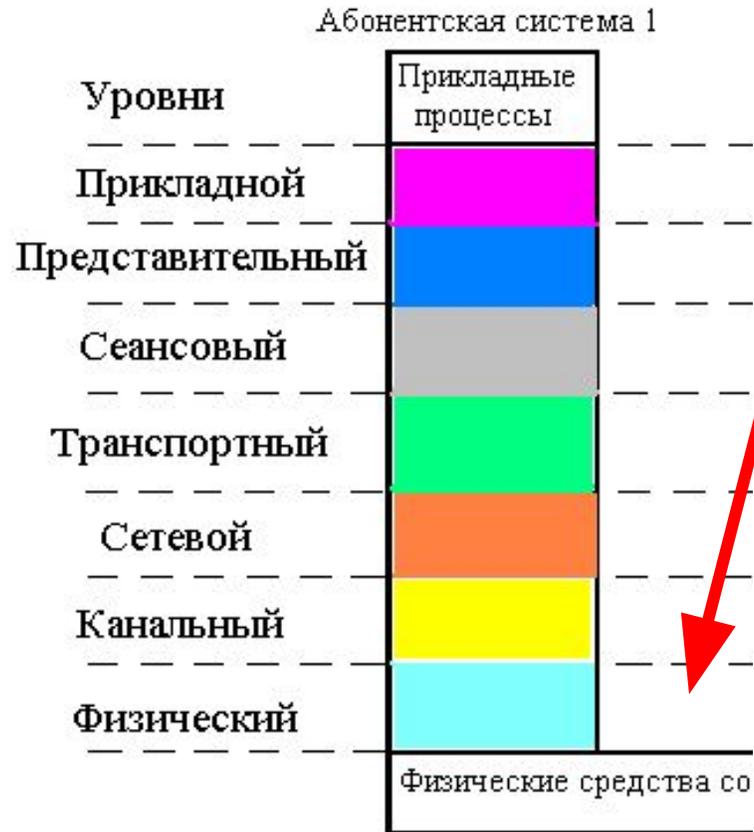
Open systems interconnection basic reference model



2-й уровень - канальный (Link, уровень звена **данных**): Основная задача - превратить несовершенную среду передачи в надежный канал, свободный от ошибок передачи. Эта задача решается разбиением данных отправителя на *кадры (фреймы)* (обычно от нескольких сотен до нескольких тысяч байтов), передачей фреймов последовательно и обработкой фреймов уведомления, поступающих от получателя. Задача определения границы кадра решается введением специальной последовательности битов, которая добавляется в начало и в конец кадра и всегда интерпретируется как его границы. Помехи на линии могут разрушить кадр. В этом случае он должен быть передан повторно. Он будет повторен также и в том случае если будет потерян. На канальном уровне решаются вопросы: как бороться с дубликатами кадра, потерями или искажениями кадров.

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

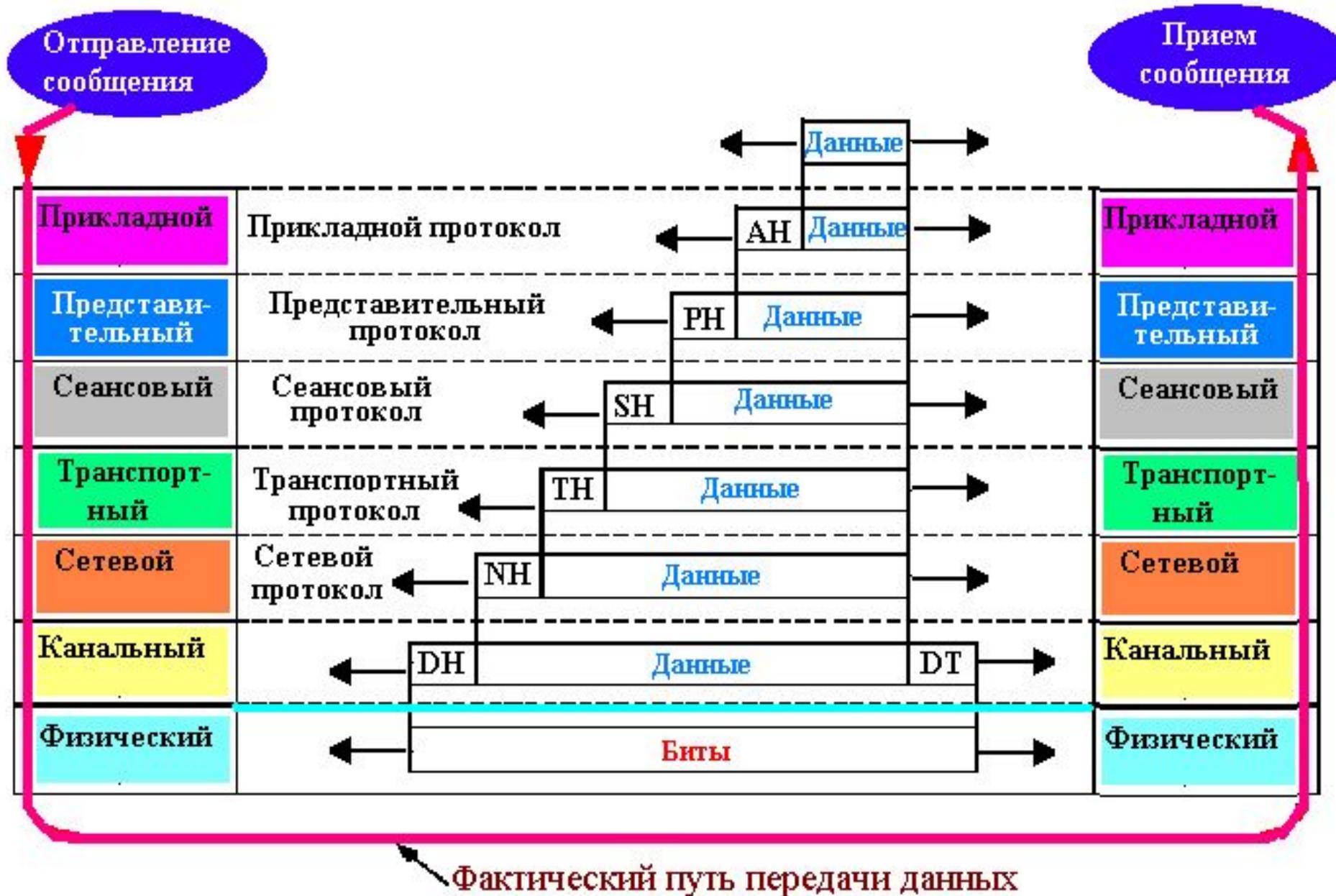
Open systems interconnection basic reference model



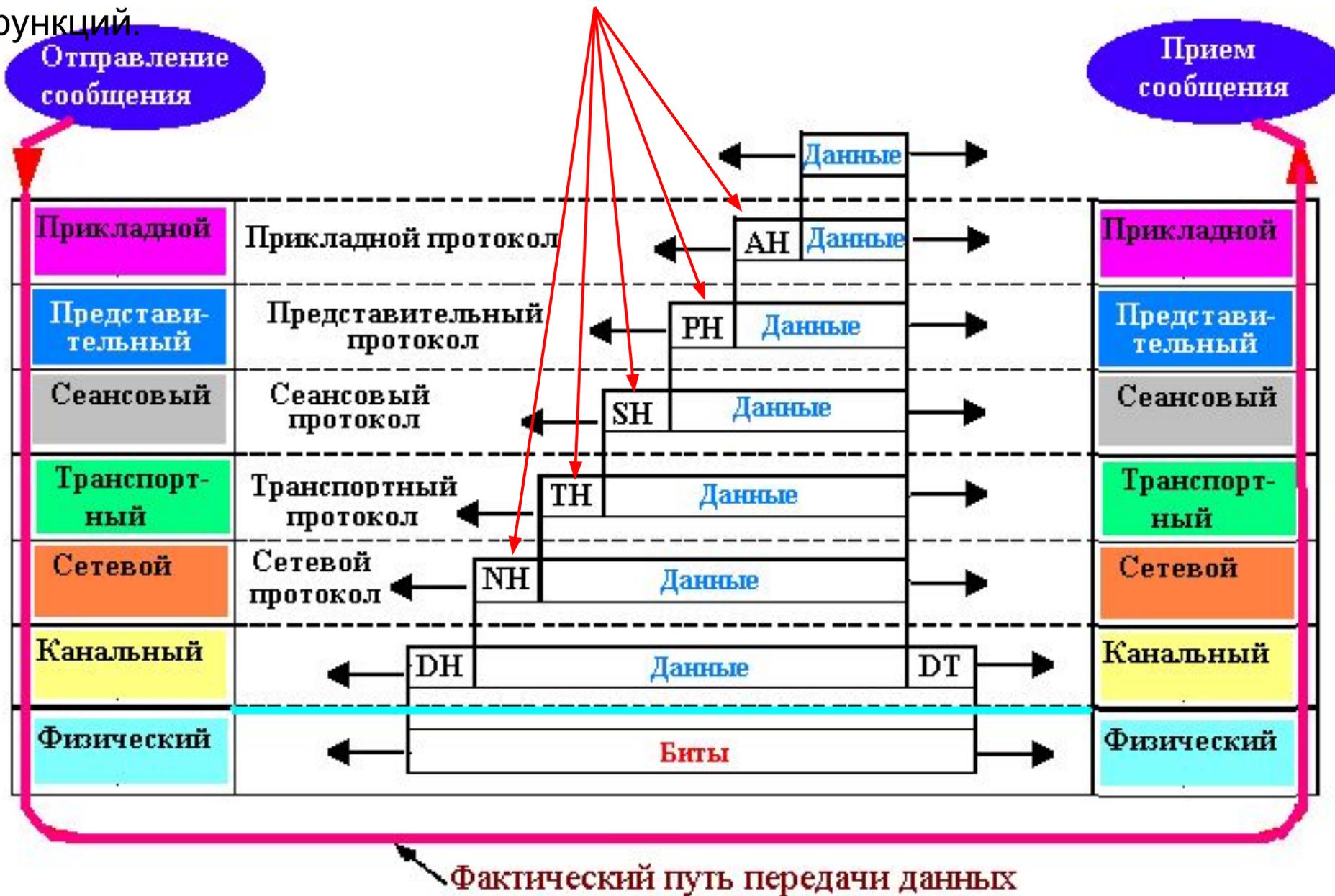
1-й уровень - *физический (Physical)*:

отвечает за передачу последовательности битов через канал связи, предоставляет механические, электрические, функциональные и процедурные средства для установления, поддержания и разъединения соединений между логическими объектами канального уровня; реализует функции передачи битов данных через физические среды. На физическом уровне осуществляются представление информации в виде электрических или оптических сигналов, преобразования формы сигналов, выбор параметров физических сред передачи данных.

Пример обработки сообщения по уровням модели OSI



Каждый уровень добавляет к данным свой **заголовок** - служебную информацию, которая необходима для адресации сообщений и для некоторых контрольных функций.



Канальный уровень кроме заголовка добавляет в конец **контрольную последовательность**, которая используется для проверки правильности приема сообщения в цифровой сети.



Физический уровень никаких заголовков не добавляет.

Основные свойства уровней модели OSI

Уровни	Назначение	Вид данных для передачи	Протоколы	Функции
7	Сетевой сервис с разделением ресурсов	Сообщение	SNMP, CMIP	Предоставление сетевого сервиса
6	Форматирование и трансляция данных	Пакет	FTP	Трансляция данных и файлов. Форматирование данных. Шифрование данных. Сжатие данных
5	Управление взаимодействием узлов сети	Пакет		Управление взаимодействием узлов. Организация логических каналов. Взаимодействие узлов. Контроль ошибок. Обработка транзакций. Поддержка вызовов удаленных процедур
4	Гарантированная доставка сообщения	Сегмент, дайтаграмма, кадр, пакет	TCP, UDP	Надежность передачи. Гарантированная доставка сообщений. Мультиплексирование
3	Маршрутизация сообщений	Дайтаграмма	IP, ATM, ISDN, X.25	Маршрутизация сообщений. Создание и ведение таблиц маршрутизации. Фрагментация и сборка данных. Не ориентированная на соединение доставка
2	Формирование и передача кадров	Кадр, пакет	ATM, Frame Relay, FDDI, X.25, PPP	Доставка сообщений по физическому адресу сетевого узла. Синхронизация кадров. Доступ к среде передачи
1	Передача битов информации	Биты	E0, E1, STM-N (n=1,4,16...)	Синхронизация битов. Сигнализация. Спецификации среды передачи

Отображение различных сетевых протоколов и технологий в модели OSI

Уровень	Уровень модели	Сетевая технология (протоколы)					
		Интернет	X.25	Frame Relay	ISDN	SDH	ATM
7	Прикладной	-	-	-	-	-	-
6	Представления	-	-	-	-	-	-
5	Сеансовый	-	-	-	-	-	-
4	Транспортный	TCP	-	-	ISDN	-	-
3	Сетевой	IP	X.25	-	ISDN LAPD	-	ATM
2	Канальный	PPP	LAPB	FR	ISDN	-	ATM
1	Физический	PPP SLIP	X.21 и др.	FR	ISDN	SDH	ATM SDH FDDI и др.

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем

Open systems interconnection basic reference model

Главное достоинство семиуровневой модели OSI упрощение процесса модернизации системы.

Изменение одного уровня не влечет за собой изменение другого уровня, т.е. существует независимость уровней друг от друга.

Функции физического уровня всегда реализуются в аппаратуре (адаптеры, мультиплексоры, сетевые платы и др.).

Функции остальных уровней реализуются в виде программных модулей - драйверов.

Функции уровней модели OSI делятся на 2 группы:

Зависящие от структуры и аппаратной реализации сети (1,2,3)

Ориентированные на работу приложений и не зависящие от особенностей построения сети (5,6,7)

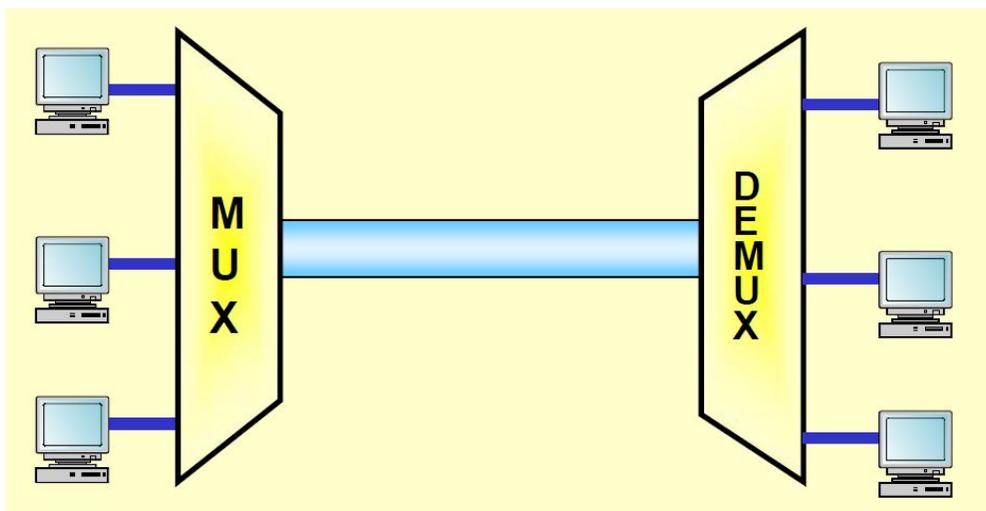
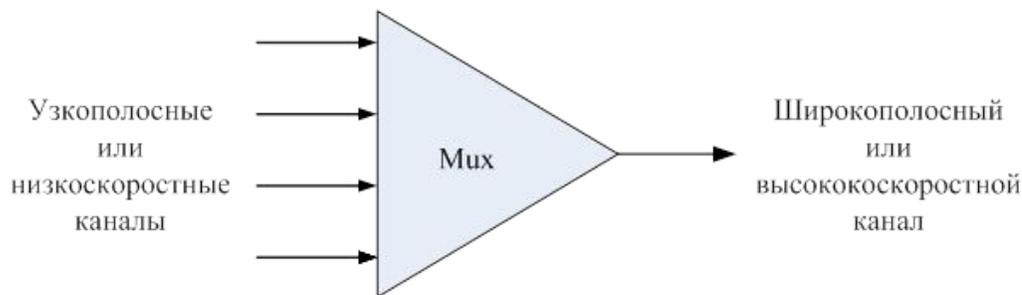
Телекоммуникационные устройства работают на 1,2,3 УРОВНЯХ и иногда захватывают транспортный уровень.

Мультиплексирование

Мультиплексирование – образование из нескольких отдельных потоков общего агрегированного потока, который передается по одному физическому каналу связи.

Демультимплексирование – разделение суммарного агрегированного потока на несколько составляющих его потоков.

Устройство, осуществляющее операцию мультиплексирования называется мультиплексором



СПОСОБЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ:

Разделение времени (Time Division Multiplexing, TDM) – каждый поток периодически на определенное время получает физический канал в свое полное распоряжение и передает по нему свои данные;

Частотное разделение (Frequency Division Multiplexing, FDM) – каждый поток передает данные в выделенном ему частотном диапазоне.

Разделение по длине волны (wavelength-division multiplexing, WDM) – каждый поток передает данные в выделенном диапазоне длин волн. Передающие устройства, работающие на различных длинах волн, посылают сигналы

Классификация методов мультиплексирования

С разделением по частоте

Frequency Division Multiplex (FDM)

С разделением по времени

Time Division Multiplex (TDM)

Синхронное

Асинхронное

С разделением по длине

Wavelength Division Multiplex (WDM)
ВОЛНЫ

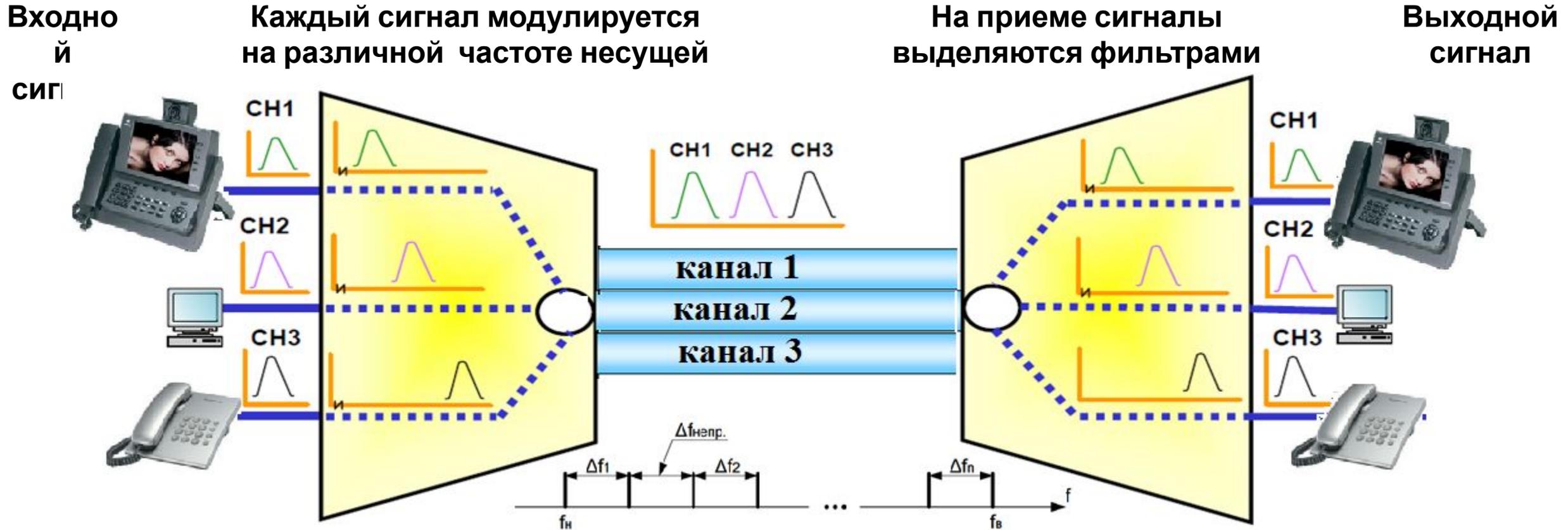
Недостатки частотного разделения каналов:

- сложность фильтров,
- большие полосы непропускания,
- неэффективное использование частотного диапазона.

Недостатки временного разделения каналов:

- нелинейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик системы связи, нарушают импульсный характер сигналов.
- взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах.

Частотное разделение каналов (FDM)



При частотном разделении каналов передача информации от нескольких источников сообщений по одной линии связи осуществляется одновременно на различных частотных диапазонах. Каждому каналу связи отводится определённый участок общей полосы частот Δf_i , передаваемых по линии связи.

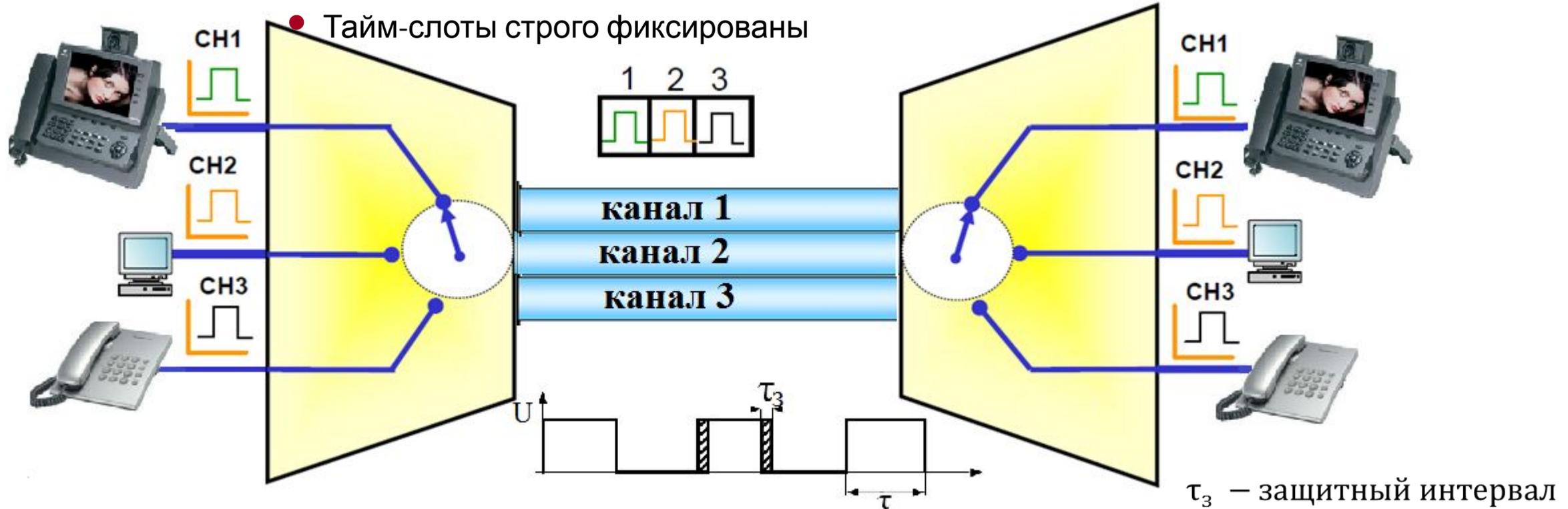
Соседние каналы связи разделяются между собой полосами непропускания $\Delta f_{\text{непр}}$, ширина которых зависит от качества фильтров, применяемых для разделения каналов.

Полоса частот определяется выражением: $\Delta F = \sum_{i=1}^n (f_i + \Delta f_{\text{непр}})$

Временное разделение каналов

СВЯЗИ

- Каждому каналу выделяется свой временной интервал (тайм-слот)
- Тайм-слоты строго фиксированы

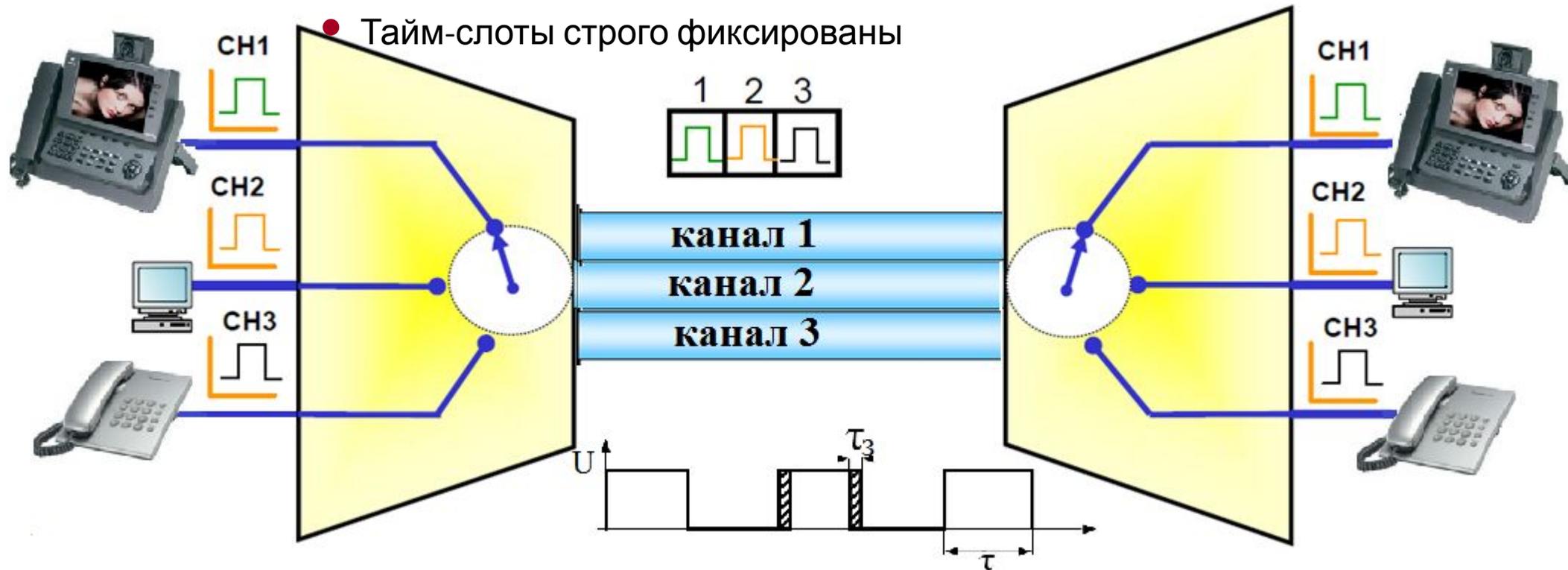


При временном разделении каналов сообщения дискретизируются и передаются только их мгновенные значения, один раз за период повторения. Мгновенные значения каждого сообщения передаются короткими импульсами, поэтому по одной линии связи можно передавать последовательно во времени несколько сообщений. Для каждого канала связи выделяется определённый промежуток времени τ , являющийся частью периода повторения, в течение которого выслаются импульсы, модулированные информацией, передаваемой по данному каналу. Модуляция импульсов осуществляется по амплитуде, длительности или по фазе.

Временное разделение каналов

СВЯЗИ

- Каждому каналу выделяется свой временной интервал (тайм-слот)
- Тайм-слоты строго фиксированы



Достоинства временного разделения каналов связи:

- Использование цифрового сигнала при передаче сообщения.
- Возможность передачи избыточной информации для восстановления полученного сигнала.
- Высокая помехоустойчивость систем (отсутствуют переходные помехи нелинейного происхождения).
- Более простая реализация систем. – Повышенная защищенность каналов от несанкционированного доступа.

Иерархии цифровых систем передачи (ЦСП)

Первичной сетью называется совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов системы электросвязи, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи системы электросвязи.

В основе современной системы электросвязи лежит использование цифровой первичной сети и цифровых систем передачи. Современная цифровая первичная сеть строится на основе трех

основных технологий:

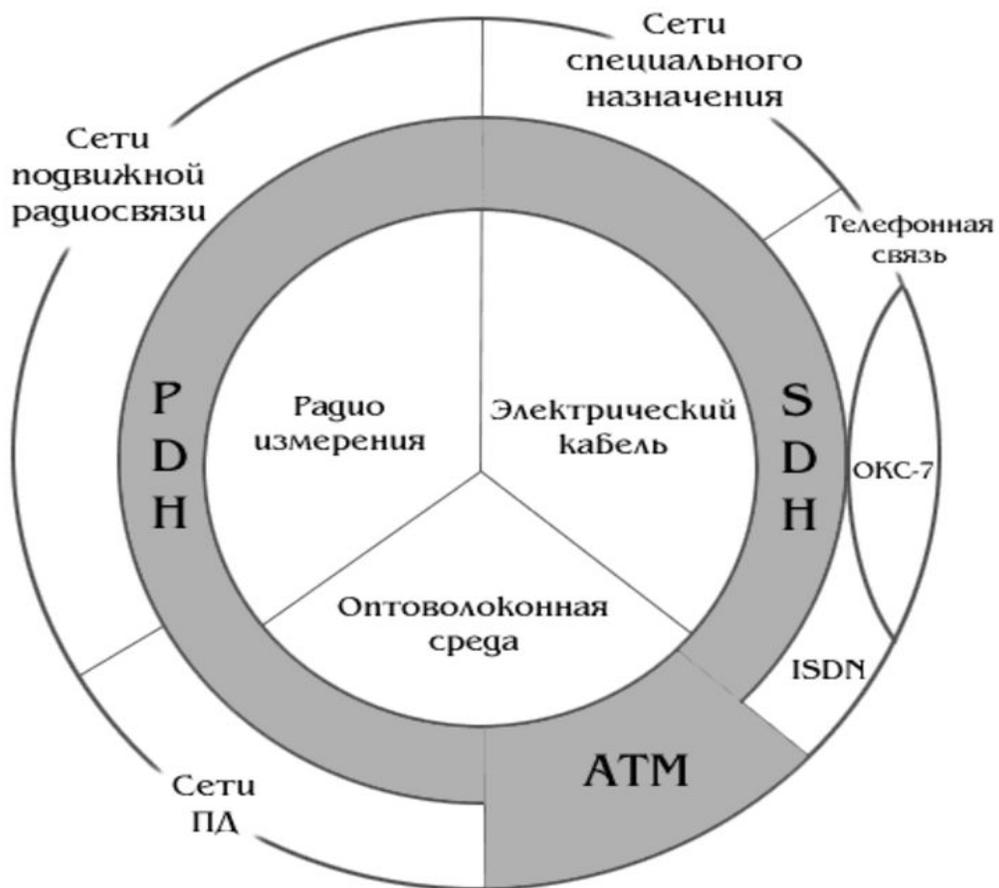
- ✓ плезиохронной иерархии (PDH),
- ✓ синхронной иерархии (SDH)
- ✓ асинхронного режима переноса (передачи) (ATM).

Первичным сигналом для всех типов ЦСП является цифровой поток со скоростью передачи **64 кбит/с**, называемый **основным цифровым каналом (ОЦК)**.

В качестве среды передачи используются электрический и оптический кабели и радиоволны.

Структура первичной сети предопределяет объединение и разделение потоков передаваемой информации, поэтому используемые на ней системы передачи строятся по **иерархическому принципу**.

Иерархический принцип заключается в том, что число каналов ЦСП, соответствующее данной ступени иерархии, больше числа каналов ЦСП предыдущей ступени в целое



Иерархический принцип

На каждый абонентский канал выделяется скорость 64Кбит/с (ОЦК).

Мультиплексор Т-1:

- передача трафика до 24 абонентов;
- оцифровывал голос с частотой 8000Гц;
- кодировал голос методом импульсно-кодовой модуляции;

Система Т-каналов

Т-1 обеспечивал передачу со скоростью 1,544 Мбит/с. ($24 \cdot 64 = 1536 + 8$ Кбит/с синхронизации)

Т-2 – объединение 4-х Т-1 - скорость 6,312 Мбит/с.

Т-3 – объединение 7-ми Т-2 - скорость 44,736 Мбит/с.

Т-4 – объединение 6-ти Т-3 - скорость 247 Мбит/с.

Аналогом Т-каналов в международном стандарте являются каналы Е-1, Е-2, Е-3, Е-4

Плездохронная цифровая иерархия

PDH (Plesiochronous digital hierarchy)

Схемы PDH были разработаны в начале 80х. Всего их было три:

- 1) Американская система (АС) принята в США и Канаде, в качестве скорости сигнала первичного цифрового канала PDH (DS1) была выбрана скорость 1544 кбит/с и давала последовательность DS1 - DS2 - DS3 - DS4 или последовательность вида: 1544 - 6312 - 44736 - 274176 кбит/с. Это позволяло передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 канала DS0 (ОЦК 64 кбит/с);
- 2) Японская система (ЯС) принята в Японии, использовалась та же скорость для DS1; давала последовательность DS1 - DS2 - DSJ3 - DSJ4 или последовательность 1544 - 6312 - 32064 - 97728 кбит/с, что пзволяло передавать 24, 96, 480 или 1440 каналов DS0;
- 3) Европейская система (ЕС) принята в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с и давала последовательность E1 - E2 - E3 - E4 - E5 или 2048 - 8448 - 34368 - 139264 - 564992 кбит/с. Указанная иерархия позволяла передавать 30, 120, 480, 1920 или 7680 каналов DS0.

Комитетом по стандартизации ITU - Т был разработан стандарт, согласно которому:

-- **во-первых**, были стандартизированы три первых уровня первой иерархии, четыре уровня второй и четыре уровня третьей иерархии в качестве основных, а также схемы кросс-мультиплексирования иерархий;

-- **во-вторых**, последние уровни первой и третьей иерархий не были рекомендованы в качестве стандартных.

Плездохронная цифровая иерархия

PDH (Plesiochronous digital hierarchy)

Уровень цифровой иерархии	Скорости передач, соответствующие различным схемам цифровой иерархии		
	АС: 1544 kbit/s	ЯС: 1544 kbit/s	ЕС: 2048 kbit/s
0	64	64	64
1	1544	1544	2048
2	6312	6312	8448
3	44736	32064	34368
4	---	97728	139264

Недостатки PDH:

- затруднённый ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах;
- отсутствие средств сетевого автоматического контроля и управления;
- многоступенчатое восстановление синхронизма требует достаточно большого времени;
- наличие трёх различных иерархий.

В PDH при мультиплексировании используются для синхронизации цифровых потоков генераторы с неточно совпадающими частотами (почти синхронными). Для мультиплексирования плезиохронных потоков данных требуется добавлять дополнительные биты информации, чтобы компенсировать различия в синхронизации. При этом переход от одного уровня скоростей к другому происходит только последовательно как в прямом, так и в обратном направлениях, что усложняет процесс «распаковки» информации.

Синхронная цифровая иерархия

SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

Новая цифровая иерархия была задумана как «скоростная информационная автострада» для передачи цифровых потоков с высокими скоростями. В рамках концепции SDH объединяются и разделяются потоки со скоростями 155.520 Мбит/с и выше. Первый вариант стандарта появился в 1984г.

Для передачи цифрового потока в SDH генерируются синхронные транспортные модули.

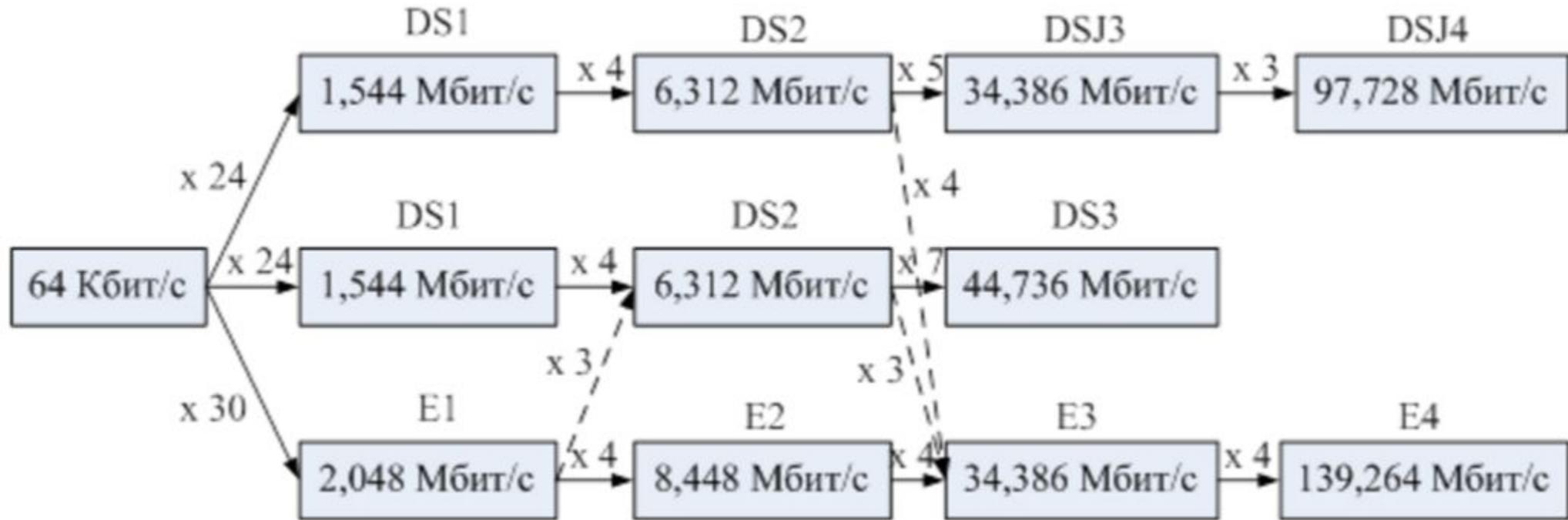
Уровень иерархии	Тип синхронного транспортного модуля	Скорость передачи данных, Мбит/сек
1	STM-1	155.520
2	STM-4	622.080
3	STM-16	2488.320
4	STM-64	9953.280

SDH разработана для создания надежных транспортных сетей, позволяющих гибко формировать цифровые каналы широкого диапазона скоростей — от единиц мегабит до десятков гигабит в секунду.

Основная область применения технологии SDH — первичные сети операторов связи.

Важной особенностью SDH является то, что в заголовках, помимо маршрутной информации, наличествуют данные, позволяющие обеспечить управление всей сетью в целом, обеспечивать дистанционные переключения в мультиплексорах, реализовывать эффективность эксплуатации сети и сохранять качество на должном уровне. Технология SDH позволяет организовать универсальную транспортную сеть, выполняющую функции передачи информации, контроля и управления как сетевыми элементами, так и всей сетью в целом. В транспортной сети SDH используется принцип транспортировки цифровых сигналов в стандартных контейнерах, помеченных специальными указателями. Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания и наполнения, чем и достигается прозрачность сети

Схема мультиплексирования и кроссмultipлексирования для различных стандартов цифровых иерархий



Для совместного использования цифровых иерархий комитетом по стандартизации ITU-T или МСЭ-Т были сделаны шаги по их унификации и возможному объединению. В результате был разработан стандарт, согласно которому были стандартизованы три первых уровня первой иерархии (DS1-DS2-DS3), четыре уровня второй иерархии (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) и четыре уровня третьей иерархии (E1-E2-E3-E4) в качестве основных. Также были указаны схемы кросс-мультиплексирования иерархий, например, из третьей в первую и обратно.

Технологии передачи данных в транспортных цифровых сетях связи (ЦСС)

Современный уровень развития сетевых технологий глобальных сетей позволяет при планировании архитектуры и разработке топологии цифровых транспортных магистральных, ведомственных и корпоративных сетей использовать следующие базовые технологии:

- TCP/IP – технология сети Интернет, основой которой является стек протоколов TCP/IP или протокол управления передачей/протокол сети Интернет;
- ATM – технология асинхронного режима передачи (переноса);
- SDH – технология СЦИ;
- WDM – технология волнового мультиплексирования (ВМП);
- DWDM – технология плотного волнового мультиплексирования (ПВМП).

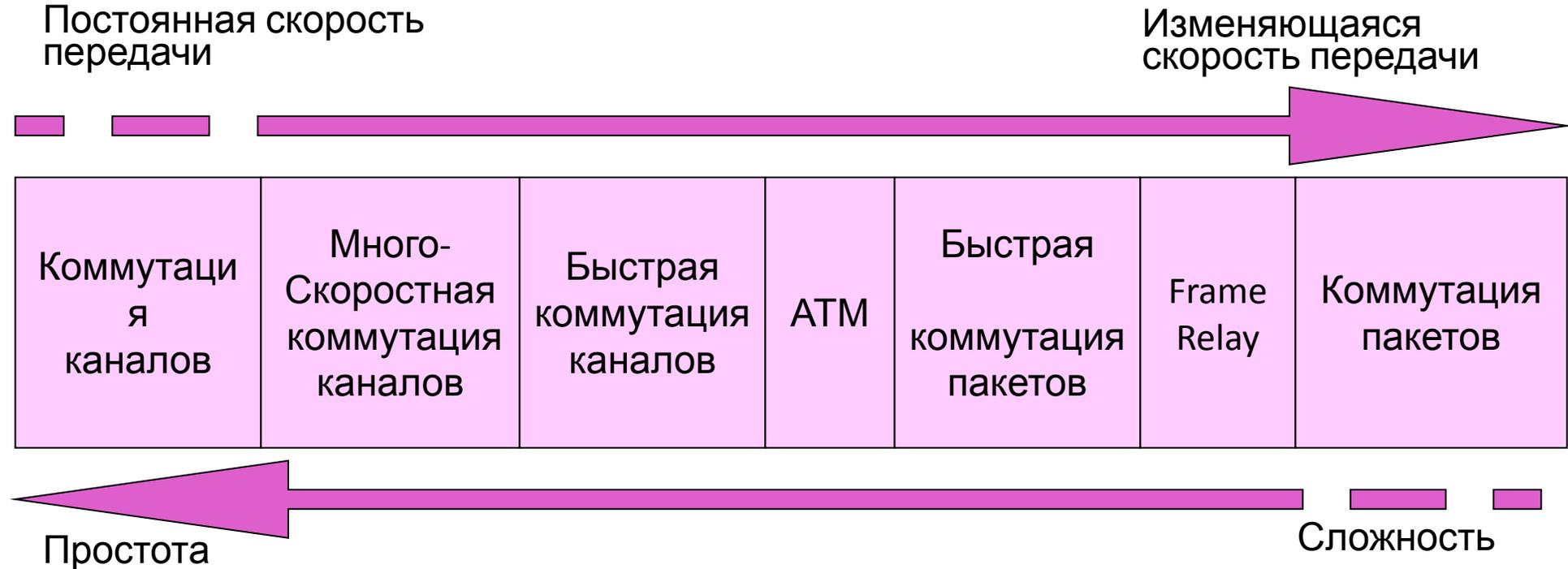
Для цифровых мультисервисных сетей на ближайшие годы определяющей будет многослойная архитектура транспортной сети вида IP/ATM/SDH/WDM (DWDM). Она позволит интегрировать на сетевом уровне базовые сетевые технологии в единую мультисервисную инфокоммуникационную сеть различного масштаба.

При планировании топологии транспортных сетей чаще применяют элементарные сетевые шаблоны типа кольца и линейки с одинаковыми или разными уровнями транспортных модулей как в кольцах, так и линейных трактах между отдельными кольцами.

Технология АТМ - Asynchronous Transfer Mode

- ❑ Технология АТМ разрабатывалась как единая универсальная транспортная технология нового поколения сетей с интеграцией услуг, так называемых широкополосных цифровых сетей (В-ISDN).
- ❑ Уникальность технологии АТМ состоит в том, что она как транспортная технология совместима со всеми базовыми сетевыми технологиями глобальной сети Интернет и с сетевыми технологиями локальных сетей.
- ❑ Технология АТМ - быстрая коммутация коротких пакетов фиксированной длины (53 байт), называемых ячейками. Поэтому технологию АТМ называют коммутацией ячеек.
- ❑ Сети АТМ относят к сетям с установлением соединений, которые бывают двух типов:
 - ✓ **Постоянные** (устанавливаются и разрываются администратором сети)
 - ✓ **Динамические** (устанавливаются и ликвидируются автоматически для каждого нового сеанса связи)
- ❑ Каждое соединение получает свой идентификатор, который указывается в заголовке ячеек.
- ❑ При установлении соединения каждому коммутатору на выбранном пути следования данных передается таблица соответствия идентификаторов и портов коммутаторов.
- ❑ Коммутатор, распознав идентификатор, направляет ячейку в нужный порт. Непосредственное указание в заголовке адресов получателя и отправителя не требуется, заголовок короткий - всего 5 байтов.

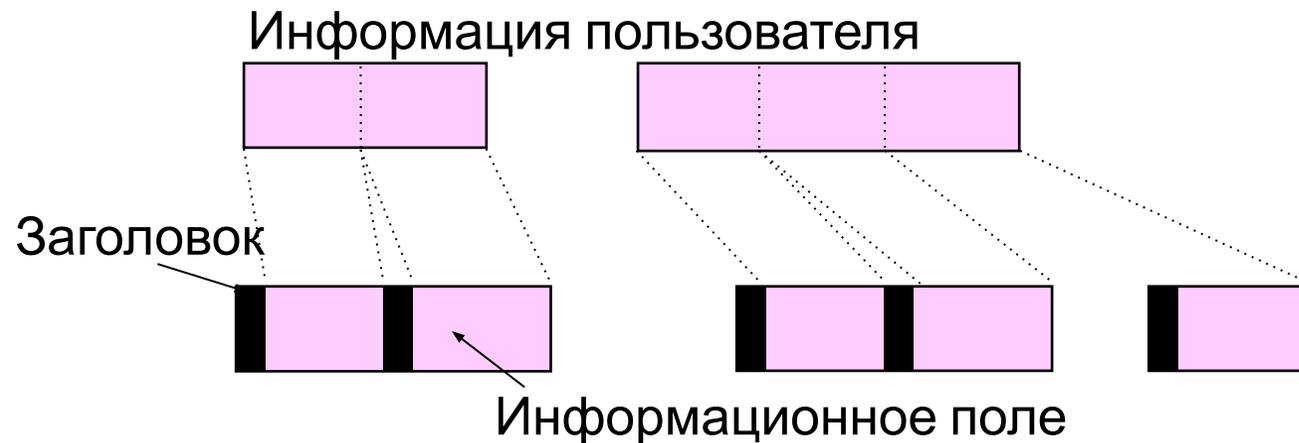
Спектр технологий коммутации



- ❑ Режимы передачи в центре спектра являются наиболее оптимальными по сложности реализации и возможности работы с переменными скоростями.
- ❑ Главное достоинство АТМ - возможность передачи любых видов информации независимо от требуемых скорости, качества и импульсивности трафика.
- ❑ Наиболее известная технология – АТМ, в которой реализуется асинхронное взаимодействие между тактовой частотой передатчика и приемника. Разница между этими частотами сглаживается за счет вставки\удаления пакетов, не содержащих полезной информации в информационный поток.

Технические решения, обеспечивающие высокие скорости передачи АТМ

- ❑ Статистическое мультиплексирование.
- ❑ Виртуальные каналы с динамическим перераспределением нагрузки.
- ❑ Коммутация кадров (в отличие от коммутации пакетов). Контрольный код (четырёхбайтный циклический) по информационной части сообщения имеется только в конце последнего пакета сообщения.
- ❑ Маршрутизация от источника - номер маршрута помещается в заголовок пакета, не нужно заново определять маршрут по таблицам маршрутизаторов при прохождении через сеть.
- ❑ Фиксированная длина пакетов (кадров) упрощает алгоритмы управления и буферизации данных, исключает необходимость инкапсуляции или конвертирования пакетов при смене форматов в промежуточных сетях.



Общий формат ячейки АТМ

Поля заголовка в ячейках содержат адресную информацию, информацию для определения качественного уровня передачи и контрольную информацию. Сетевые устройства АТМ используют данную информацию для коммутации ячеек в нужном направлении.

48-байтное поле данных ячейки АТМ содержит полезную информацию, которая передается по сети. Любой тип данных может быть помещен в

Техника виртуальных каналов

Техника виртуальных каналов заключается в разделении операций маршрутизации и коммутации пакетов. Первый пакет таких сетей содержит адрес вызываемого абонента и прокладывает виртуальный путь в сети, настраивая промежуточные коммутаторы. Остальные пакеты проходят по виртуальному каналу в режиме коммутации на основании номера виртуального канала, который является локальным адресом для каждого порта каждого коммутатора.

Преимущества: ускоренная коммутация пакетов по номеру виртуального канала, а также сокращение адресной части пакета, а значит, и избыточности заголовка.

Недостатки: невозможность распараллеливания потока данных между двумя абонентами по параллельным путям, а также неэффективность установления виртуального пути для кратковременных потоков данных.

Виртуальный канал — однонаправленное соединение для передачи ячеек, имеющих единый идентификатор. Когда виртуальный канал устанавливается, он получает уникальную метку, называемую идентификатором виртуального канала (Virtual Circuit Identifiers, VCI). Этот идентификатор используется двумя устройствами, участвующими в процессе передачи данных для определения направления коммутации ячеек, принадлежащих к этому виртуальному каналу. Идентификатор изменяется при передаче ячеек от коммутатора к коммутатору. Это позволяет каждому коммутатору определять дальнейшее направление отсылки ячейки.

Виртуальный путь — объединяет группу однонаправленных виртуальных каналов, которые имеют общий идентификатор пути. Виртуальные каналы имеют схожие сетевые требования, но могут иметь разных абонентов. Виртуальные пути имеют свой уникальный идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifiers, VPI). По аналогии с идентификаторами виртуальных каналов, этот

Широкополосная цифровая сеть с интеграцией услуг (Broadband Integrated Services Digital Network - BISDN)

Отличительные признаки *сети интегрального обслуживания*:

- Объединение функций предоставления услуг связи самых разных видов.
- Одинаковый способ доступа пользователя к любой из этих услуг (или даже к нескольким услугам одновременно). Используются одни и те же протоколы доступа и всегда в одной и той же точке – точке доступа “пользователь-сеть”.

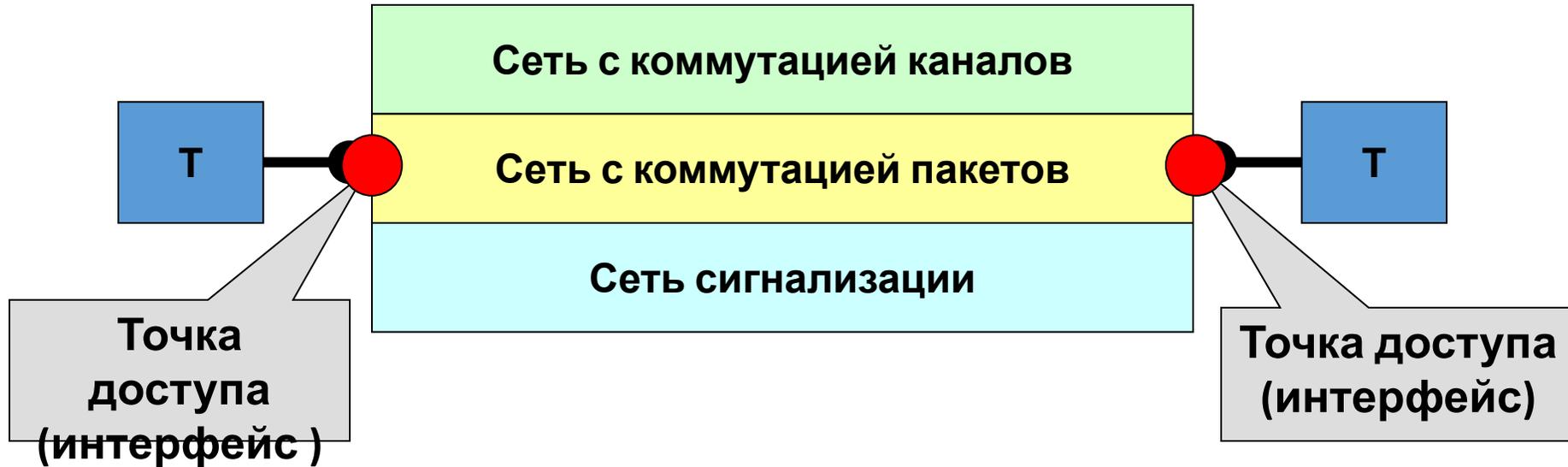
Именно благодаря наличию такого объединенного (или, что то же самое, – *интегрального*) доступа ко всем услугам связи, предоставляемым сетью, обеспечивается *интегральное обслуживание пользователей*.

Новое поколение сетей с интеграцией услуг B-ISDN, основано целиком на технике коммутации ячеек - технологии ATM). ISDN обеспечивает следующие службы:

- некоммутируемые средства (выделенные цифровые каналы);
- коммутируемая телефонная сеть общего пользования;
- сеть передачи данных с коммутацией каналов;
- сеть передачи данных с коммутацией пакетов;
- сеть передачи данных с трансляцией кадров (frame relay);
- средства контроля и управления работой сети.

Стандарты ISDN описывают также ряд услуг прикладного уровня: факсимильную связь на скорости 64 Кбит/с, телексную связь на скорости 9600 бит/с, видеотекс на скорости 9600 бит/с и некоторые другие

Структурный состав ISDN



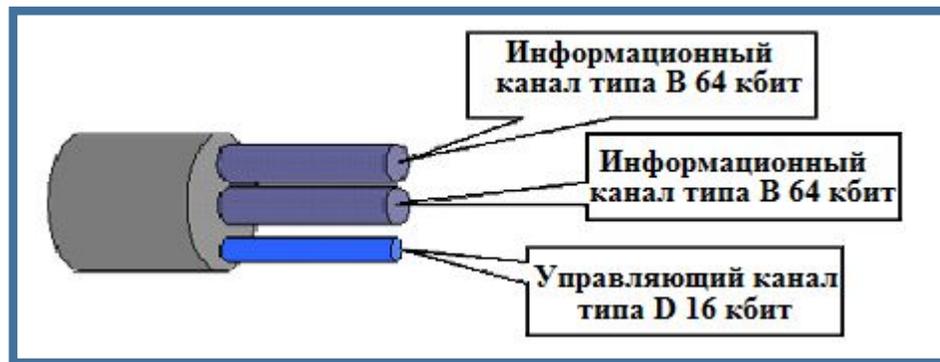
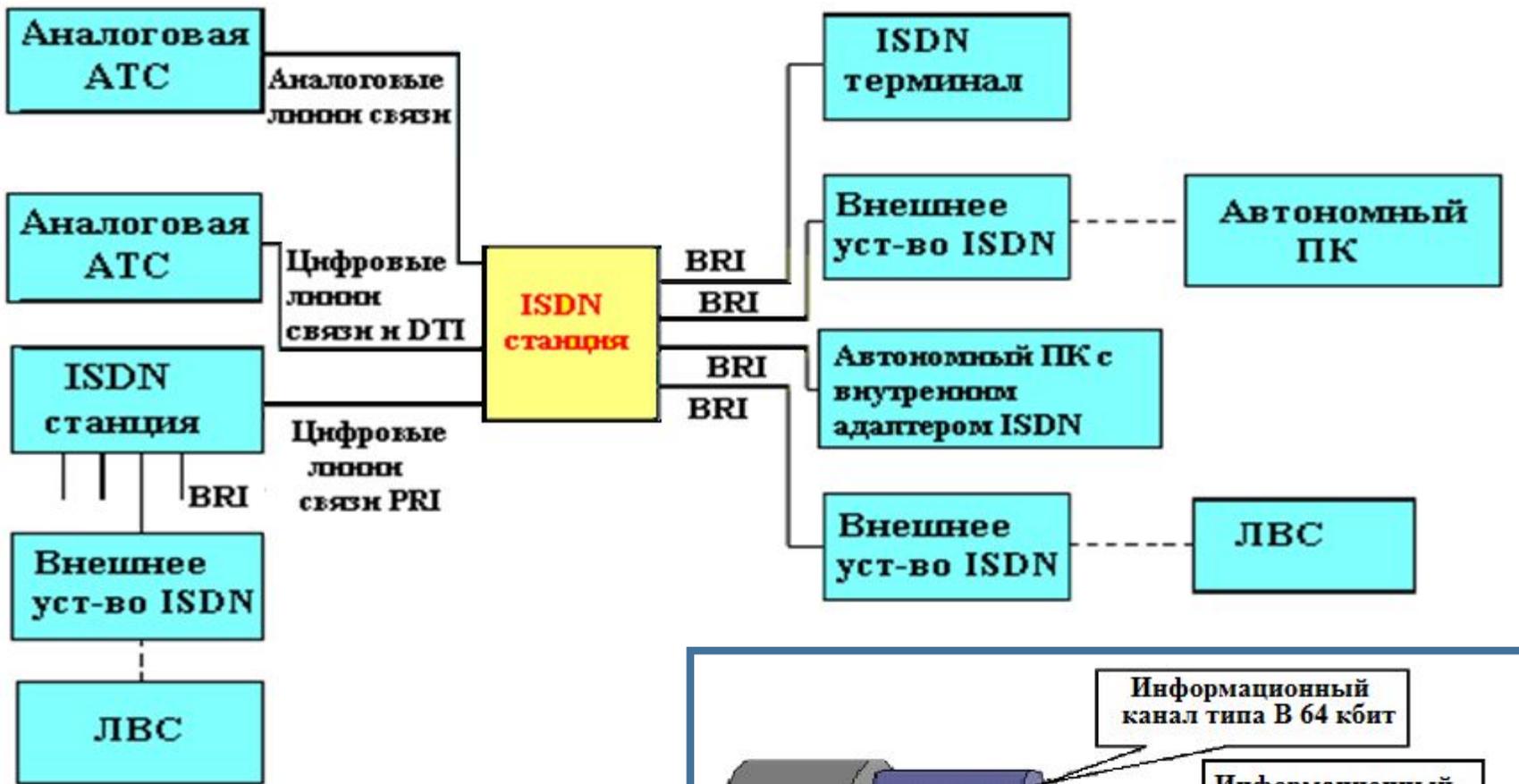
В составе ISDN интегрируются 3 вида специализированных сетей:

- Сеть с коммутацией каналов,
- Сеть с коммутацией пакетов,
- Сеть сигнализации.

Основные свойства ISDN:

- Возможность передачи информации в цифровой форме от одного терминала пользователя до другого.
- Предоставление широкого спектра услуг.
- Возможность подключения разнообразных терминалов к сети с помощью стандартного согласующего интерфейса.
- Централизованная сигнализация по общему каналу.
- Возможность использования обоих способов коммутации (коммутации каналов и коммутации

Типы соединений сети ISDN



2 типа интерфейсов ISDN:

- ❑ Интерфейс базового уровня BRI (Basic Rate Interface), регламентирующий соединение ISDN-станции с абонентом.
- ❑ Интерфейс первичного уровня PRI (Primary Rate Interface), обеспечивающий связь между ISDN-станциями
- ❑ Логически BRI представляет собой структурированный цифровой поток, разделенный на три канала:
 - ✓ два информационных канала типа В с пропускной способностью 64 Кбит/с каждый
 - ✓ один служебный канал типа D с пропускной способностью 16 Кбит/с. Поэтому BRI называют -

Два разных соединения могут осуществляться одновременно и независимо друг от друга по одной телефонной линии (по числу В-каналов).

ТИПЫ КАНАЛОВ ISDN

Тип канала	Скорость передачи	Технология коммутации	Назначение
B	64 кбит/с	Коммутация каналов	Оцифрованный голос, факс, электронная почта, графика, массивы данных, интерактивный обмен данными, видео низкого разрешения
D	16 кбит/с (BRI), 64 кбит/с (PRI)	Коммутация пакетов (LAP-D)	Телеметрия, сигнализация, управление энергопитанием, электронная почта, интерактивный обмен данными
H0	384 кбит/с	Совместная коммутация каналов	Высококачественное аудио, высокоскоростная передача цифровых данных
H11	1536 кбит/с	Совместная коммутация каналов	Видео/телеконференции, высокоскоростная передача цифровых данных
H12	1920 кбит/с	Совместная коммутация каналов	Видео/телеконференции, высокоскоростная передача цифровых данных
H4	до 150 Мбит/с	Совокупная коммутация каналов	ТВ высокой четкости, интерактивное видео

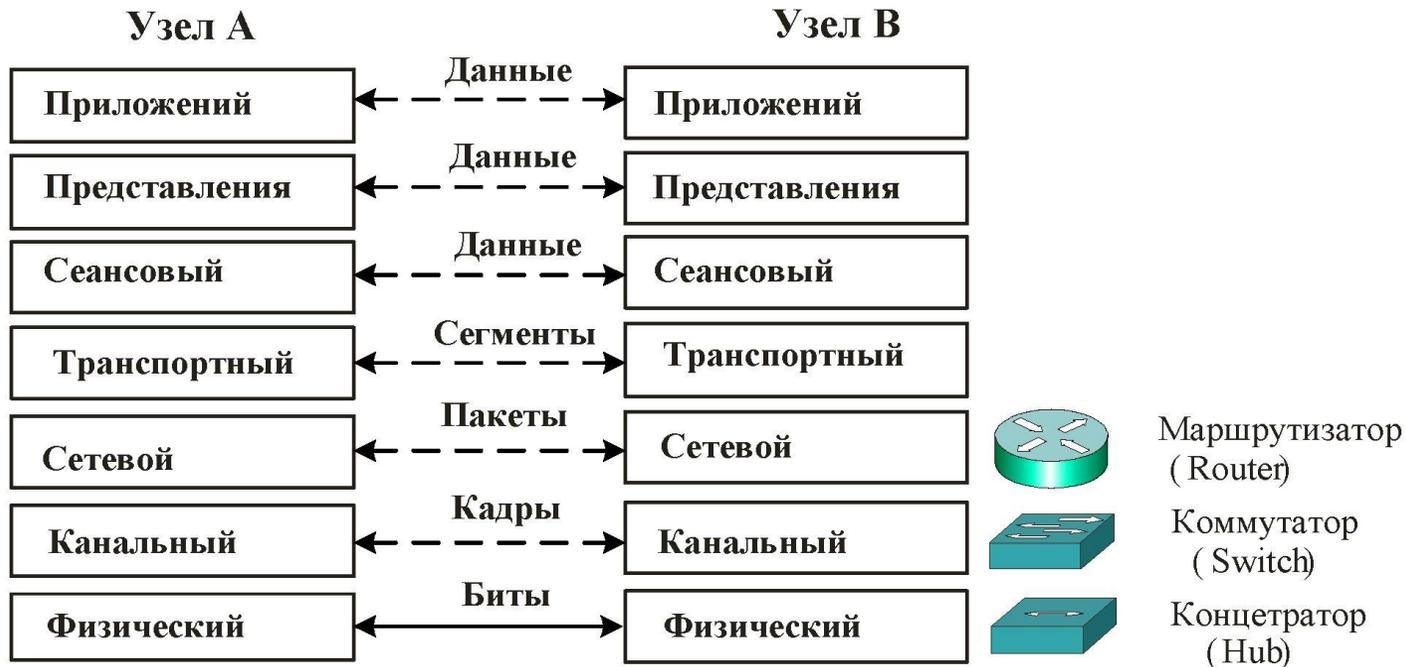
Принципы объединения сетей

Объединение подсетей в единую ведомственную корпоративную сеть возможно на основе протоколов сетевого уровня модели OSI. Сетевой уровень рассматривается как средство построения больших сетей.

В эталонной модели OSI в функции сетевого уровня входят:

- ❑ передача пакетов между конечными узлами в составных сетях;
- ❑ выбор маршрута передачи пакетов, наилучшего по некоторому критерию;
- ❑ согласование разных протоколов канального уровня, применяемых в отдельных подсетях, в рамках всей составной или объединенной сети.

Протоколы сетевого уровня реализуются в виде программных модулей и выполняются на конечных узлах сети (в ЛВС – это серверы, называемые хостами, в транспортных сетях – это удаленные интеллектуальные мультиплексоры СЦИ/SDH) и на промежуточных узлах сети (в ЛВС – это **маршрутизаторы**, называемые шлюзами). Организация межсетевого взаимодействия лежит в основе интеграции различных сетевых технологий в современных цифровых сетях.



Сложную, структурированную сеть, интегрирующую различные базовые технологии, можно также создать средствами канального уровня. Для этого используются некоторые типы мостов и коммутаторов. **Мост или коммутатор** разделяет сеть на сегменты, локализуя трафик внутри сегмента. При этом сеть разделяют на отдельные подсети, из которых могут быть построены составные сети достаточно крупных размеров.

Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети

К основным информационно-техническим характеристикам транспортной или ведомственной (корпоративной) сети относятся:

- пропускная способность транспортных магистралей или базовые скорости передачи;
- объем входящего и исходящего трафиков в сетевых узлах;
- суммарный трафик в сетевых трактах и магистралях сети;
- надежность или коэффициент готовности сети в целом.

Выбор сетевых технологий и архитектуры построения мультисервисных сетей определяется в результате анализа трафика в сети и оценки пропускной способности транспортной сети.

Современные ЦСС позволяют передавать различные виды трафика со скоростями до 10 Гбит/с и выше.

В ЦСС выделяют **две основные категории трафика**

- трафик реального времени (передача голоса, аудио, видео и т.п.);
- трафик передачи данных.

Трафик передачи данных делится на три категории по требованиям к временным задержкам при передаче:

- Трафик реального времени** – трафик с аудио- и видеоинформацией, практически не допускающий задержек (допустимая задержка постоянна и не превышает 0,1 с).
- Трафик транзакций** - допустимая временная задержка не должна превышать 1 с. Превышение допустимой задержки приводит к сбою рабочей сессии и пользовательским приложениям потребуется ее повторять.
- Трафик данных** - допустима любая временная задержка (до нескольких секунд). При увеличении пропускной способности сети уменьшается время передачи данных, поэтому часто занимают всю

Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети

По характеру передаваемой информации основными видами трафика являются:

- передача голоса;
- передача данных;
- передача видеотрафика;
- передача мультимедиа (аудио, видео, данные).

Основные требования к ЦСС для передачи мультимедийной информации

Тип трафика	Видео со сжатием	Аудио со сжатием	Видео без сжатия	Аудио без сжатия	Данные со сжатием	Данные без сжатия
Скорость передачи, кбит/с	56 – 35000	16 – 384	3000 – 166000	64 – 1536	800 – 1200000	155000 – 12000000
Коэффициент пульсаций	1:10	1:3	1:10	1:3	3:1000	3:1000

Трафик передачи данных ведомственной ЦСС характеризуется значительной неоднородностью, взрывообразным характером во времени и требует для своей передачи в разные моменты времени разной полосы пропускания.

Реальный объем передаваемых по сети данных складывается непосредственно из данных (полезной нагрузки) и необходимого информационного обрамления, составляющего накладные расходы на передачу. Для каждой категории трафика в ЦСС устанавливаются соответствующие им приоритеты. Трафик с более высоким приоритетом обрабатывается в первую очередь.

Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети

Результаты исследований показывают, что при передаче низкокачественной аудиоинформации по сети с места пожара или ликвидации ЧС максимальная задержка сигнала не должна превышать значений 100–150 мс, а при передаче изображений – не более 30 мс. Передача голосовых сообщений без искажений возможна при задержке не более 50 мс.

В установившемся режиме N канального беспriorитетного обслуживания простейших потоков вероятность отказа $P_{от}$ в обслуживании (или вероятность занятости P_N всех каналов) определяется формулой Эрланга:

$$P_{от} = P_N = \frac{(E^N / N!)}{\sum_{k=0}^N E^k / k!}$$

k – количество занятых каналов, ($0 \leq k \leq N$),

E - относительное значение времени обслуживания одним каналом или плотность потока событий (плотность трафика в эрлангах).

Физический смысл E интенсивности или плотности потока событий (трафика) – это среднее число событий, приходящееся на единицу времени для данного момента. Плотность потока событий или трафика E может быть любой неотрицательной функцией времени и имеет размерность 1/с.

Применительно к ЦСС плотность трафика нормируется на 1 ч. Поэтому **1 эрланг – это относительное время занятости канала за 1 ч.**

Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети

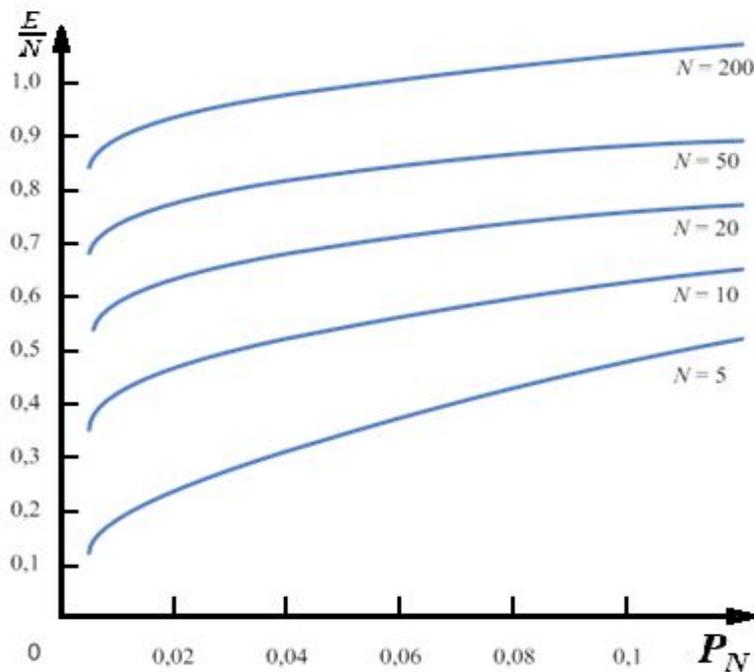
Основой маршрутизации трафика в ЦСС является принцип распределения большого числа каналов (входов) от абонентов сети между меньшим числом выходов на коммутационных узлах в ЦСС. Требование на предоставление абоненту выхода в сеть возникает и снимается случайным образом. Из-за случайного поступления требований со стороны входов оценка качества обработки трафика является вероятностной задачей и описывается математически на основе теории массового обслуживания.

Требование на обслуживание количественно выражается плотностью трафика E [эрланг], т.е. суммой средних требований на обслуживание всех входов одним каналом за единицу времени [1

е среднего времени обслуживания одним каналом:
$$E = \frac{T_{об\ ср}}{T} = \frac{C \cdot t}{T}$$
 C – число вызовов за время T ,
 t – средняя длительность вызовов.

Зависимость вероятности потери вызова P_N от плотности потока заявок на обслуживание (плотности потока трафика) E и числа выходов N в ЦСС определяется формулой Эрланга. По этой формуле построены графические зависимости отношения $\frac{E}{N} = f(P_N)$ при разных значениях N .

Удельная плотность трафика E/N или нормированный закон Эрланга часто используется в качестве основного параметра для расчета и оптимизации трафика в сети связи.



Основные информационно-технические характеристики транспортной или ведомственной (корпоративной) сети

Эффективность использования полосы пропускания цифрового канала связи при загрузке различными типами трафика можно определить на основе анализа структуры кадров передачи базовых сетевых технологий.

В простейшем случае в транспортной сети SDN передается цифровой телефонный (голосовой) трафик. В виртуальном контейнере из 2430 байт кадра при 100%-ной загрузке канала телефонным трафиком 1890 байт заполняются полезной нагрузкой, а служебной – 540 байт. Следовательно коэффициент использования полосы пропускания в транспортной сети SDN составит:

$$K_{\text{эф}} = \frac{F_{\text{use}}}{F} = \frac{P_{\text{use}}}{P} = 0,78$$

F – полоса пропускания мультиплексируемого канала;

F_{use} – полезная полоса пропускания мультиплексируемого канала;

P – число байт в кадре;

P_{use} – число байт с полезной нагрузкой в кадре.

С помощью коэффициента использования полосы пропускания можно определить необходимую полосу для передачи заданного объема телефонного трафика. В данном примере в полосе пропускания цифрового канала связи, равной 155,52 Мбит/с, помещается полезная нагрузка, имеющая скорость передачи чистого телефонного трафика 121,3 Мбит/с ($155,52 \times 0,78$).

Технологии передачи информации в сетях доступа

Цифровая абонентская линия (digital subscriber line) xDSL - семейство технологий, предназначенных для организации цифровых абонентских линий с использованием в качестве среды передачи медных витых пар существующих абонентских телефонных кабельных систем .

Технологии xDSL появились в середине 90-х годов как альтернатива цифровому абонентскому окончанию ISDN. Они позволяют значительно повысить пропускную способность абонентской линии телефонной сети общего пользования для передачи мультимедийной цифровой информации.

Семейство xDSL включает следующие технологии: DSL; IDSL; HDSL, SDSL; ADSL, RADSL, UADSL; VDSL.

Оборудование xDSL для передачи информации не ограничивается спектром канала телефонной частоты, а использует всю возможную пропускную способность телефонных линий. Широкий спектр частот не позволяет аппаратуре работать по коммутируемой линии и определяет ее применение только на участке телефонных кабельных систем между абонентом и сетью передачи данных поставщика услуг или между двумя абонентами при непосредственном соединении их абонентских линий.

xDSL реализует технологии физического уровня и предоставляет высокоскоростную среду для применения протоколов более высоких уровней и организации разнообразных сервисов (доступ к Internet и Intranet с применением протокола IP, передача видео и др.).

Возможности xDSL:

- повышение в десятки раз скорости передачи трафика по обычному телефонному проводу,
- низкозатратный способ разгрузки коммутаторов телефонных станций от возросшего объема неголосового трафика,
- организации различных сервисов на единой платформе.

Основные технологии xDSL

Технология DSL	Максимальная скорость (прием/передача)	Максимальное расстояние	Количество телефонных пар
HDSL	2 Мбит/с	4,5 км	2
SDSL	2 Мбит/с	3 км	1
SHDSL	2,32 Мбит/с	7,5 км	1
VDSL	65 Мбит/с / 35 Мбит/с	1,5 км на max. скорости	1
ADSL	24 Мбит/с / 3,5 Мбит/с	5,5 км	1

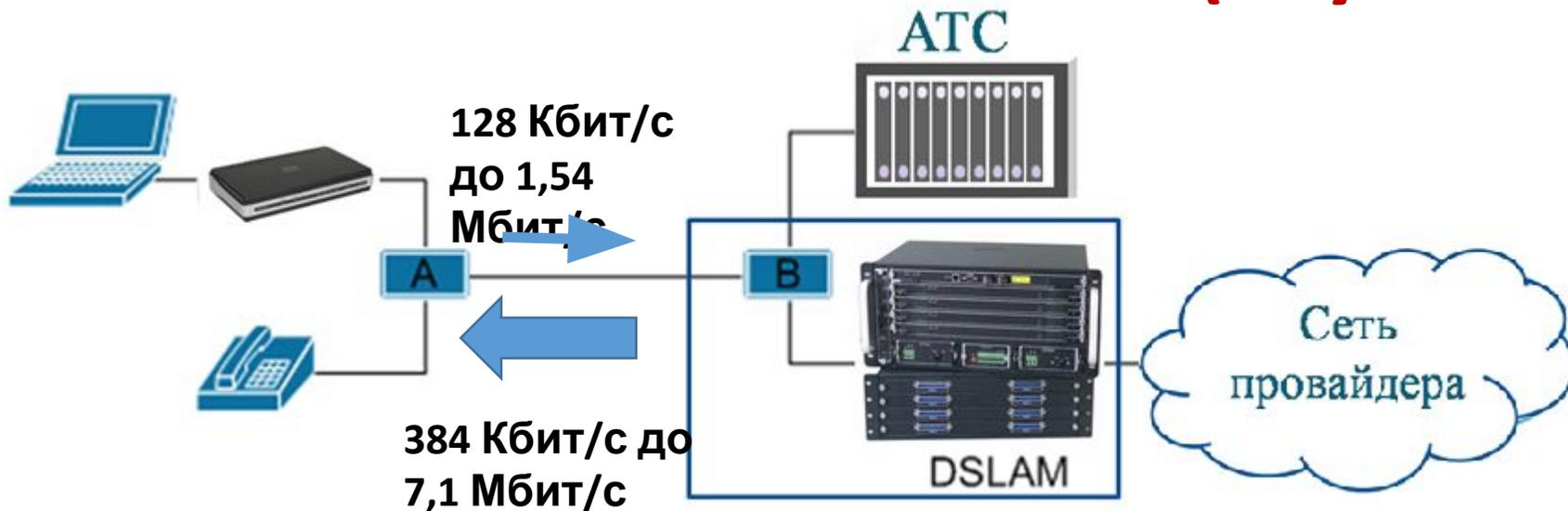
Отличительной чертой модемов xDSL является использование спектра частот, не пересекающегося со спектром канала телефонной частоты, благодаря чему по абонентской линии можно вести телефонные переговоры одновременно с передачей цифровой информации.

HDSL (High-bit-rate DSL) - технология высокоскоростной цифровой абонентской линии. Обеспечивает дуплексный (симметричный) обмен на скорости 768 или 1024 кбит/с по одной паре и 2048 кбит/с (E1) по двум-трем парам кабеля без подбора параметров и симметрирования. Предназначена для применения в корпоративных сетях.

SDSL (Single Pair DSL) – разновидность HDSL, обеспечивают дуплексную передачу потока 2048 кбит/с по одной паре проводов на расстояние 3–4 км при диаметре жилы кабеля 0,4–0,5 мм.

VDSL (Very High-bit-rate DSL) - сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия. Обеспечивает скорость передачи данных "нисходящего" потока в пределах от 13 до 52 Мбит/с, а скорость передачи данных

Технология ADSL (Asymmetric DSL)



ADSL обеспечивает скорость передачи данных от 384 Кбит/с до 7,1 Мбит/с по входящему каналу от 128 Кбит/с до 1,54 Мбит/с — по исходящему каналу.

По широкому входящему каналу абонент получает данные из Интернета или видео, а исходящий канал используется для отправки запросов на получение информации, передачи электронной почты, файлов, проведения голосовых переговоров через Интернет. В основе типовой схемы абонентского подключения лежит использование принципа частотного разделения. Весь сигнал, передаваемый по абонентской линии, делится в частотном диапазоне на три части:

- диапазон передачи сигналов традиционной телефонии (POTS);
- диапазон для ADSL линия вверх (ADSL up) (исходящий поток);
- диапазон для ADSL линия вниз (ADSL down) (нисходящий поток).

