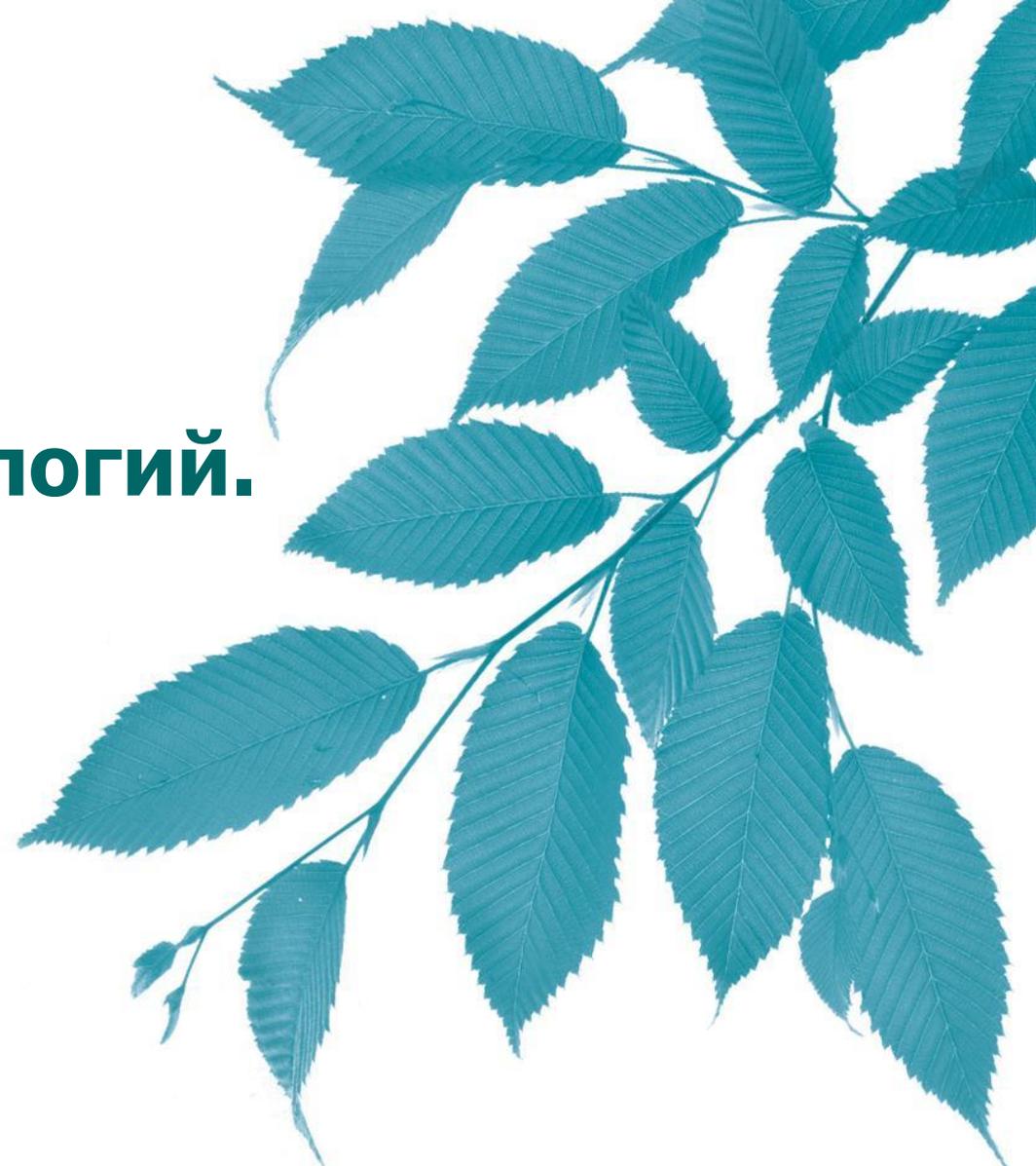




Основы сетевых технологий. Часть 1: Передача и коммутация данных в компьютерных сетях

Сертификационный курс

Лекция 3



Лекция 3

Физический уровень модели OSI

Лекция 3. Физический уровень модели OSI

- ❑ Понятие линии и канала связи;
- ❑ Сигналы;
- ❑ Основные характеристики линии связи;
- ❑ Методы совместного использования среды передачи канала связи;
- ❑ Модуляция и кодирование сигналов;
- ❑ Стандарты кабелей;
- ❑ Электрическая проводка;
- ❑ Беспроводная среда передачи.

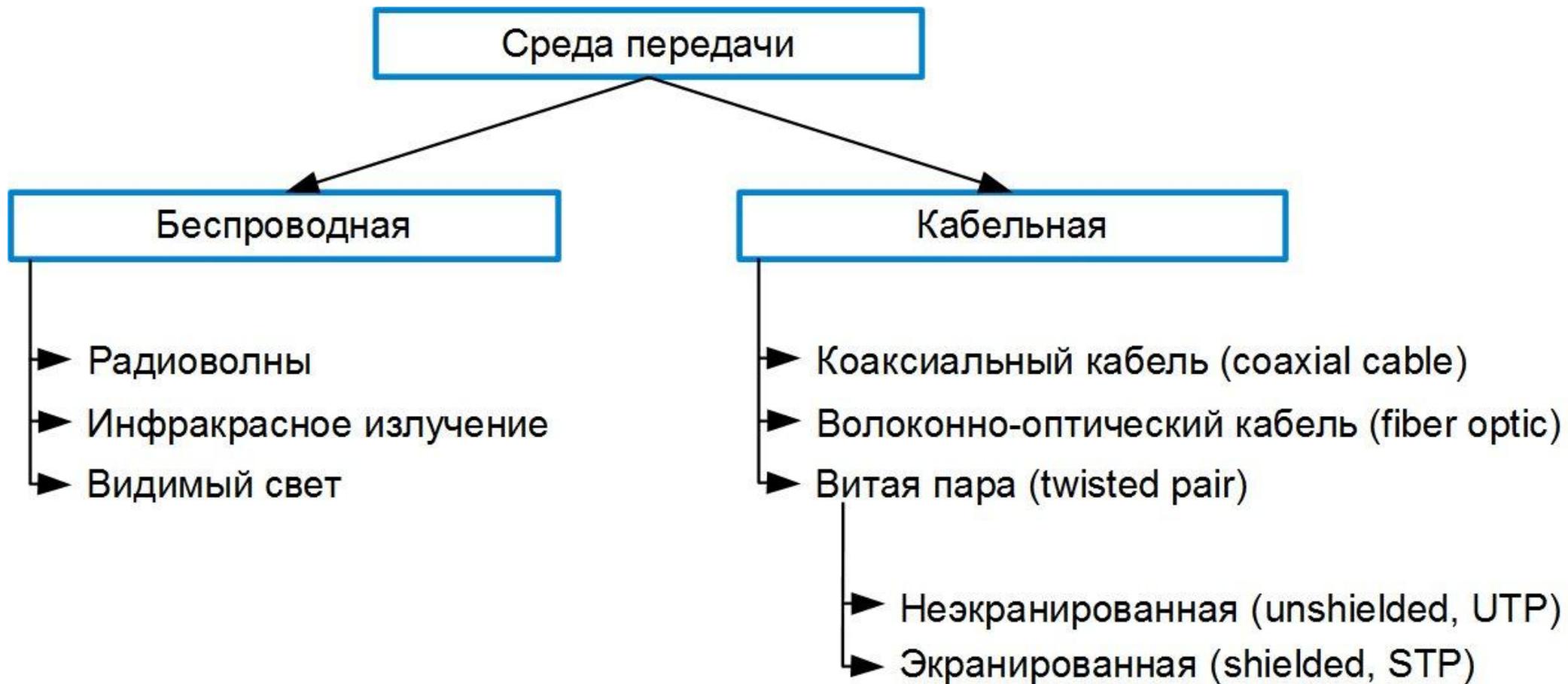
Физический уровень модели OSI

- ❑ **Функции физического уровня модели OSI:**
 - ❑ передача битов через физическую среду в виде электрических, оптических и радиосигналов;
 - ❑ установление, поддержание и деактивизация канала между конечными системами;
 - ❑ идентификация каналов;
 - ❑ оповещение о появлении неисправностей и отказов.

- ❑ **Широко известны и применяются стандарты физического уровня, разработанные:**
 - ❑ Альянсом отраслей электронной промышленности (Electronics Industries Alliance, EIA);
 - ❑ Ассоциацией телекоммуникационной промышленности (Telecommunications Industry Association, TIA).

Понятие линии связи и канала связи

- ❑ **Среда передачи** (transmission medium) или **физическая среда** – материальная субстанция, через которую осуществляется распространение сигналов.



Понятие линии связи и канала связи

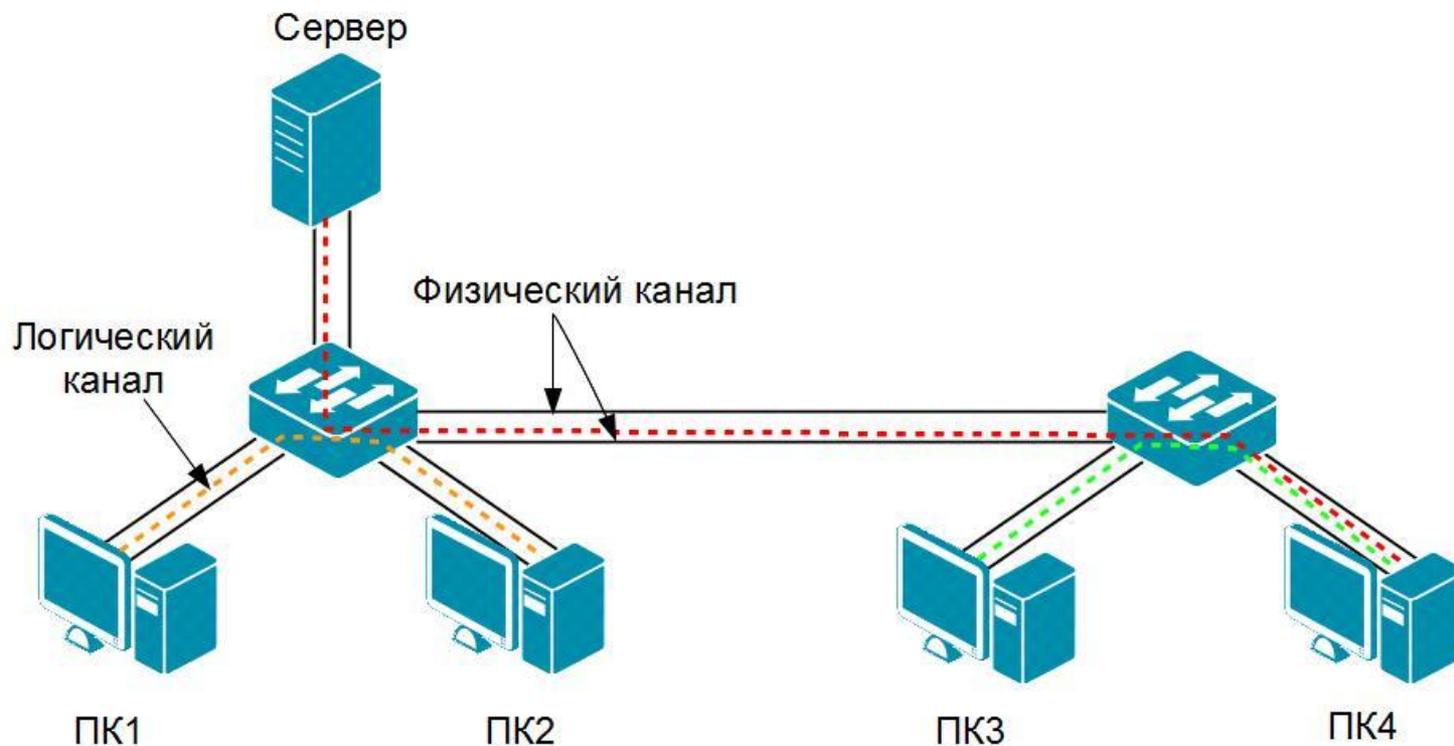
- ❑ **Канал связи** (channel, data link) – совокупность одной или нескольких физических сред передачи и каналообразующего (сетевое) оборудования, которые обеспечивают передачу данных между взаимодействующими системами в виде сигналов, соответствующих типу физической среды.



Понятие линии связи и канала связи

- **Каналы связи разделяют на:**
 - **физические** (physical link);
 - **логические** (logical link);

- **Физические каналы подразделяются на:**
 - **электрические** (витая пара, коаксиальный кабель);
 - **оптические** (волоконно-оптический кабель);
 - **беспроводные** (радиоканалы, инфракрасные каналы и т.д).

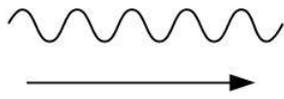


- **Каналы (линии) связи можно классифицировать на основе следующих признаков:**
 - по типу физической среды;
 - по типу представления передаваемой информации;
 - по направлению передачи данных;
 - по времени существования;
 - по способу подключения;
 - по ширине полосы пропускания.

Понятие линии связи и канала связи

- В зависимости от направления передачи данных различают каналы:
 - **симплексные** (simplex) – передача осуществляется только в одном направлении;
 - **полудуплексные** (half-duplex) – передача ведется поочередно в прямом и обратном направлении;
 - **дуплексные** (duplex) – передача ведется одновременно в двух направлениях - прямом и обратном).

Радиостанция



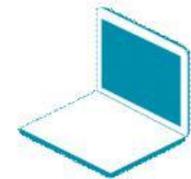
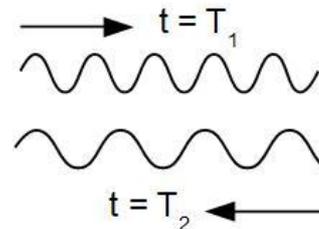
Радиоприемник



Симплексный канал



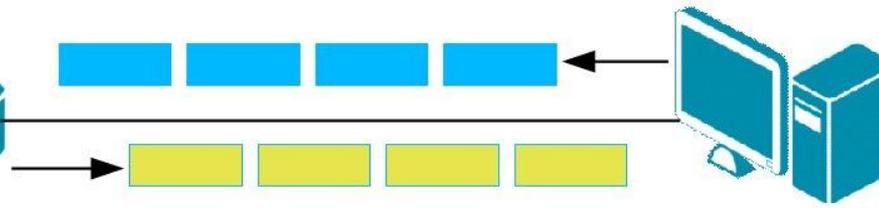
Точка доступа



Полудуплексный канал



Коммутатор



Дуплексный канал

- **По времени доступности абонента каналы разделяют на:**
 - **выделенные** или **некоммутируемые** - доступны для передачи данных на длительное время за счет постоянно существующего соединения с заданными характеристиками;
 - **коммутируемые** или **временные** - передача данных возможна только после установления соединения между взаимодействующими системами.

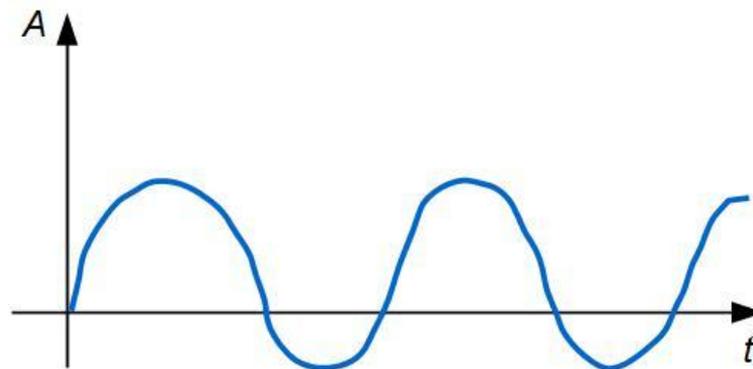
- **По способу подключения каналы делятся на:**
 - **«точка-точка»** (point-to-point) - связывает только два узла или две взаимодействующих системы;
 - **«точка-многоточка»** (point-to-multipoint) – обеспечивает соединение одной центральной системы (узла) с группой других систем (узлов);
 - **«многоточка»** (multipoint) - обеспечивает подключение друг к другу группы узлов или систем.

- **В зависимости от ширины полосы пропускания и способа передачи сигналов каналы делятся на:**
 - **основополосные** (baseband channel);
 - **широкополосные** (broadband channel).

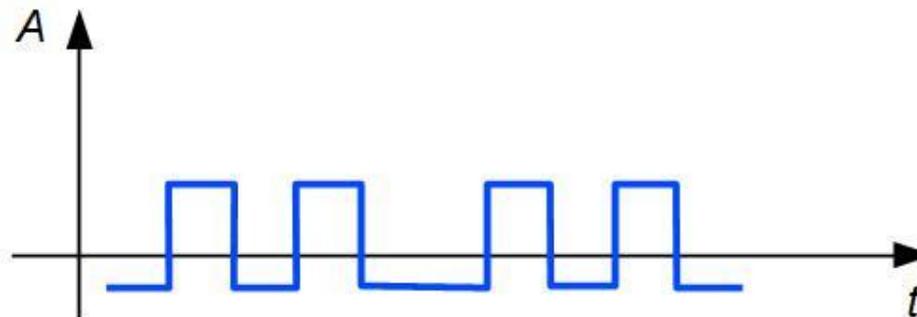
Передача данных по каналам связи осуществляется с помощью их физического представления – электрических (электрический ток), оптических (свет) или электромагнитных сигналов.

□ Если рассматривать сигнал как функцию времени, то он может быть:

□ **аналоговым** (непрерывным) - его величина непрерывно изменяется во времени;



□ **цифровым** (дискретным) – имеющим конечное, обычно небольшое число значений.



- ❑ **Гармонический сигнал** - это гармонические колебания, со временем распространяющиеся в пространстве, которые несут в себе информацию или какие-то данные.
- ❑ **Гармонический сигнал несет в себе информацию в виде трех параметров:**
 - ❑ амплитуды;
 - ❑ фазы;
 - ❑ частоты.

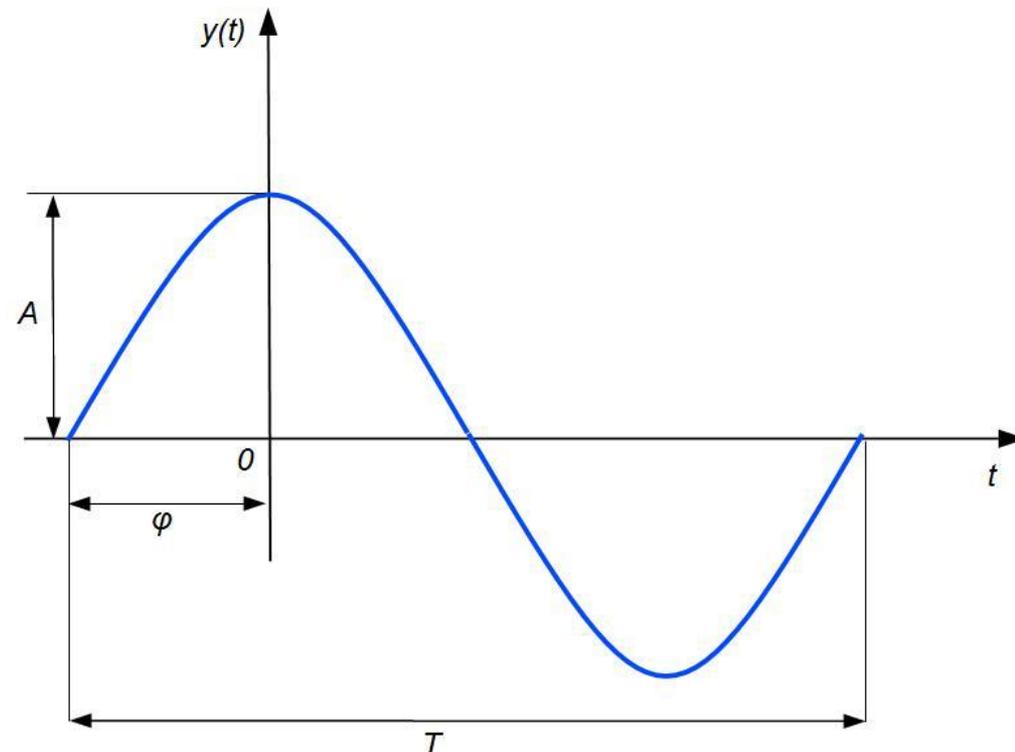
$$y(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

A – амплитуда сигнала;

ω – круговая частота: $\omega = 2\pi f$ (f – линейная частота: $f = 1/T$, величина обратная периоду T);

φ_0 – начальная фаза гармонического сигнала;

t – время.

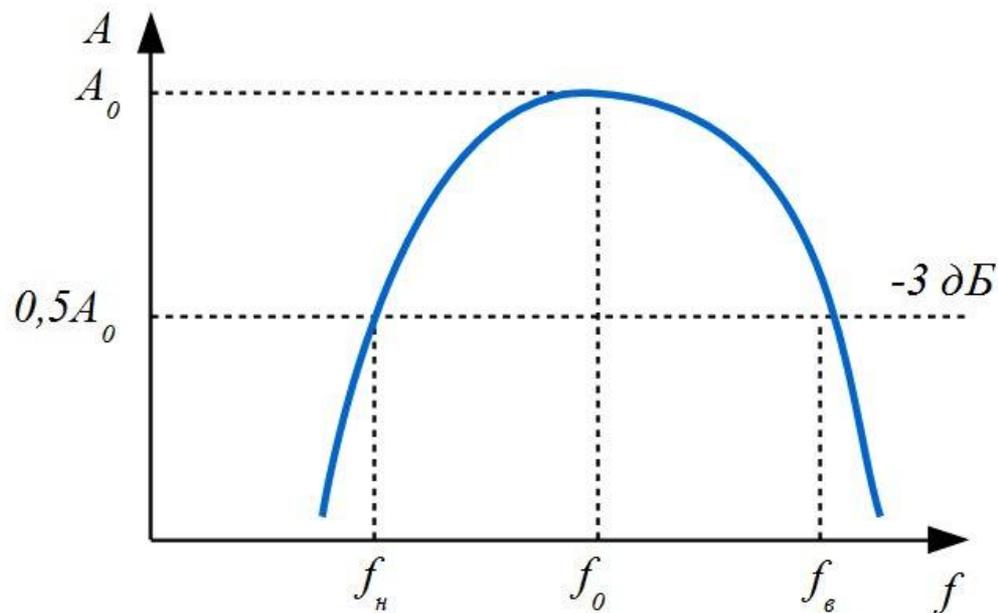


Основные характеристики канала СВЯЗИ

- К основным характеристикам канала (линии) связи, существенно влияющим на качество передачи сигнала, можно отнести:
 - полосу пропускания;
 - затухание;
 - помехоустойчивость;
 - пропускную способность;
 - достоверность передачи данных.

Основные характеристики канала связи

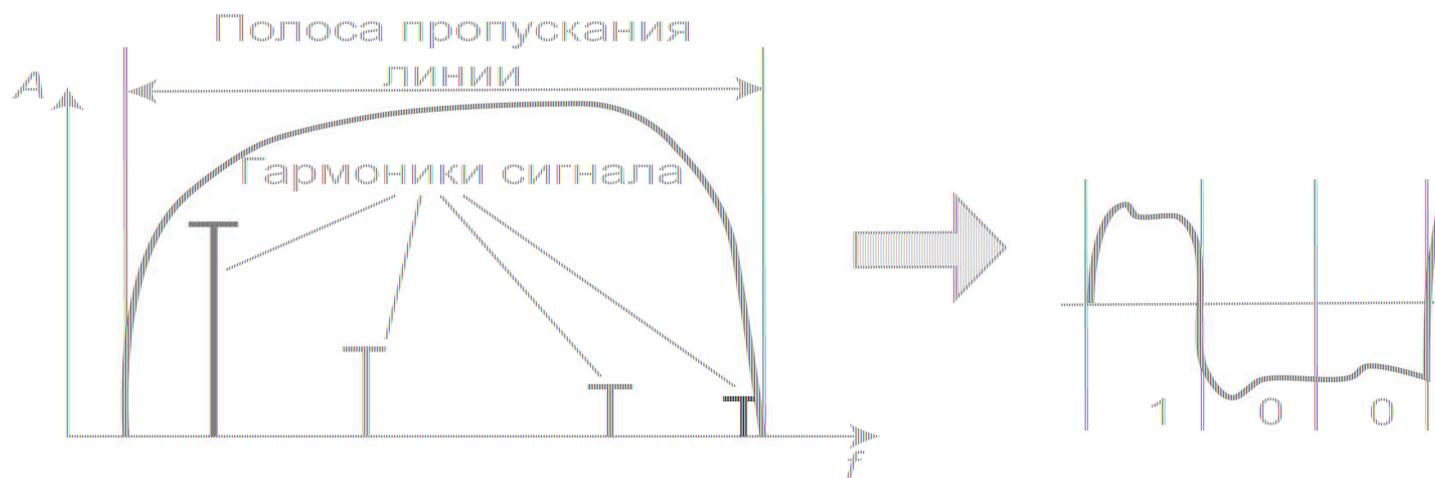
- ❑ **Полоса пропускания** (bandwidth) – диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) линии связи достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.
- ❑ Измеряется полоса пропускания в *герцах* (Гц).



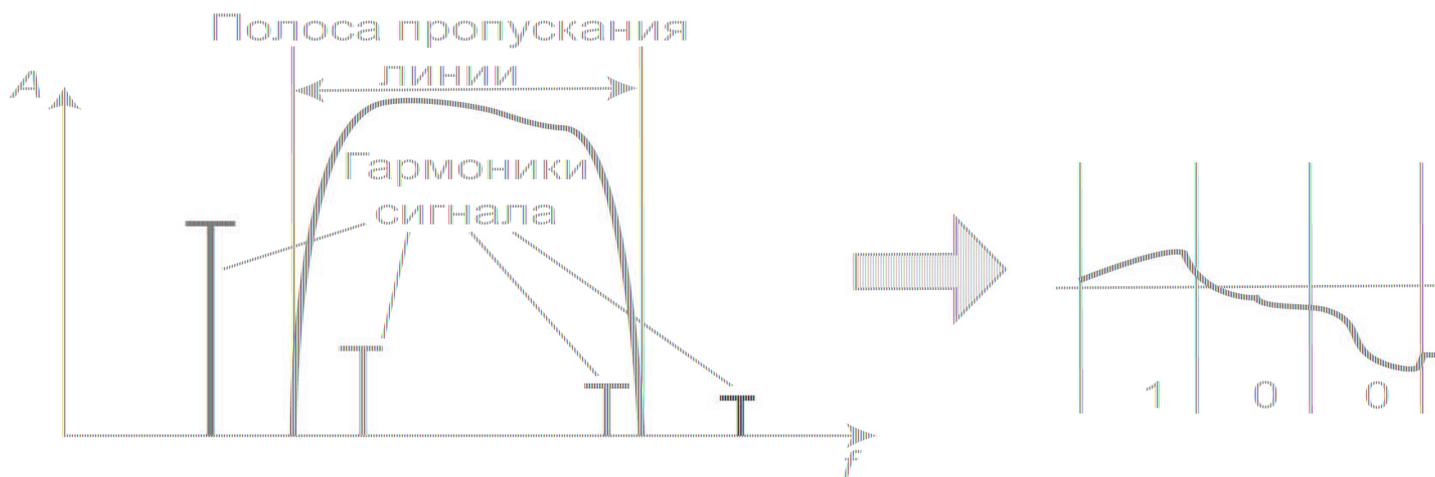
❑ Ширина полосы пропускания:

- ❑ влияет на максимально возможную скорость передачи информации по каналу связи;
- ❑ зависит от типа среды передачи;
- ❑ зависит от наличия в каналах частотных фильтров.

Влияние полосы пропускания на сигнал



a)



b)

Основные характеристики канала связи

- **Затухание** (attenuation) — это величина, показывающая, насколько уменьшается мощность (амплитуда) сигнала на выходе канала связи по отношению к мощности (амплитуде) сигнала на входе.
- Коэффициент затухания d измеряется в *децибелах* (дБ, dB) на единицу длины и вычисляется по следующей формуле:

$$d[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

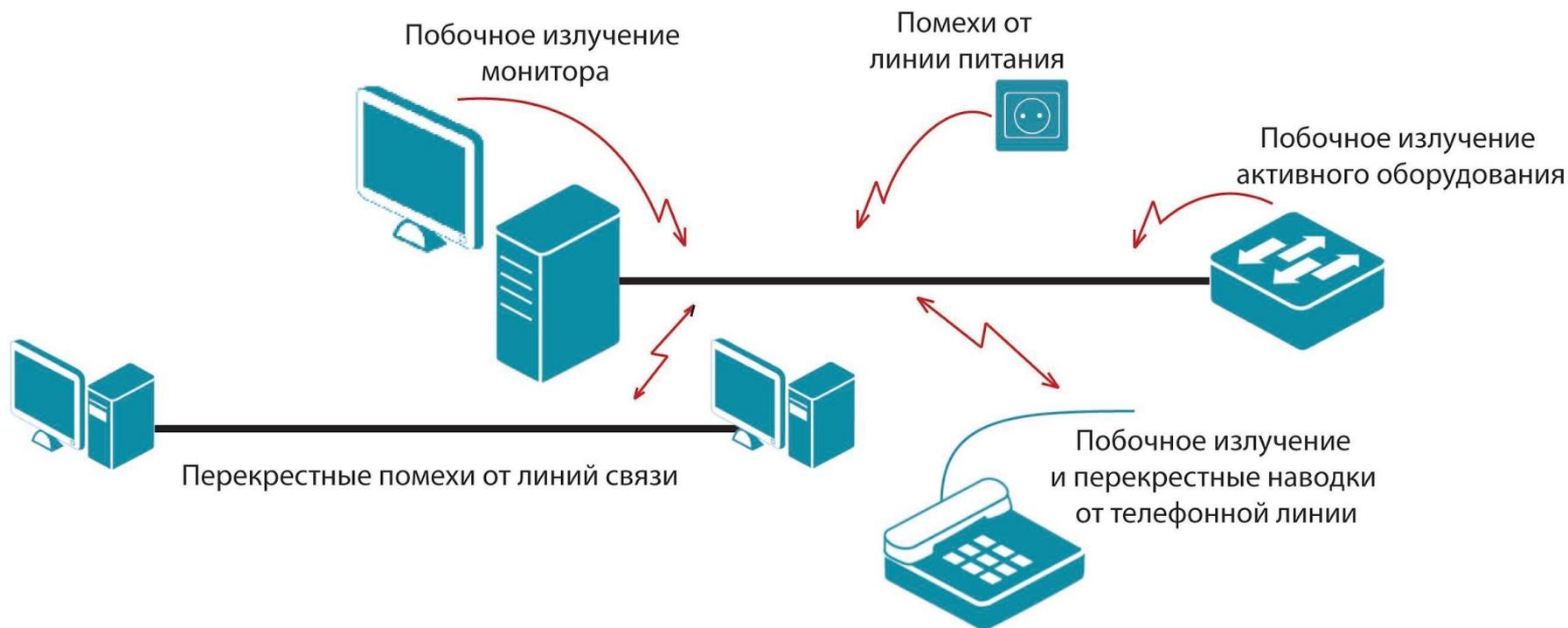
где $P_{\text{ВЫХ}}$ – мощность выходного сигнала; $P_{\text{ВХ}}$ – мощность входного сигнала.

□ Затухание:

- характерно как для аналоговых, так и для цифровых сигналов;
- влияет на расстояние, которое сигнал может пройти между двумя точками без усиления или восстановления;
- увеличивается с ростом частоты сигнала.

Основные характеристики канала СВЯЗИ

- ❑ **Помехоустойчивость** – способность канала противостоять воздействию помех.
- ❑ **В зависимости от источника возникновения и от характера их воздействия помехи делятся на:**
 - ❑ внутренние;
 - ❑ внешние;
 - ❑ взаимные.



Основные характеристики канала СВЯЗИ

- ❑ **Внутренние помехи** возникают от источников, находящихся в данном канале связи и появляются сразу же после включения оборудования связи.

- ❑ **Внешние помехи** делятся на:
 - ❑ промышленные (лампы дневного света, бытовые приборы, компьютеры, радиосистемы, линий электропередач и т.д);
 - ❑ радиопомехи (излучения радиостанций различного назначения);
 - ❑ атмосферные (магнитные бури, северное сияние, грозовые разряды);
 - ❑ космические (излучение Солнца, видимых и невидимых звезд).

- ❑ **Взаимные** (перекрестные, cross talk) **помехи** или **наводки** возникают при передаче информации по смежным каналам – сигнал, переданный по одному каналу связи, создает нежелательный эффект в другом (возникает интерференция сигналов).

- **Способы борьбы с помехами в электрических кабелях:**
 - **экранирование (shielding).** Используется для защиты от электромагнитных и радиопомех. Экран представляет собой металлическую оплетку или фольгу, которая окружает каждый провод или группу проводов в кабеле. Он действует как барьер для взаимодействующих сигналов.
 - **скручивание проводников.** Используется для подавления перекрестных наводок на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT) и перекрестных наводок на дальнем конце (Far End Cross Talk, FEXT).
- Наиболее защищенными от помех являются **оптические каналы.**
- Наименее защищенными от влияния помех являются **беспроводные каналы** связи.

Основные характеристики канала связи

- ❑ **Отношение сигнал/шум** (SNR, Signal-to-Noise Ratio) – параметр канала связи, который позволяет оценить мешающее воздействие помех на сигнал.

$$SRN[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_c}{P_{ш}},$$

где P_c – мощность сигнала; $P_{ш}$ – мощность шума (помех).

- ❑ Чем больше отношение сигнал/шум, тем меньше шум влияет на полезный сигнал при его передаче по каналу связи.

- Для повышения помехоустойчивости канала связи применяются следующие методы:
 - увеличение отношения сигнал/шум;
 - расширение спектра сигнала;
 - увеличение избыточности информации;
 - применение помехоустойчивых кодов;
 - фильтрация полезного сигнала.

Основные характеристики канала связи

- ❑ **Пропускная способность** (throughput) канала связи – максимально возможная информационная скорость передачи данных – количество данных, которое может быть передано по каналу связи за единицу времени.
- ❑ Измеряется пропускная способность в *битах в секунду* (бит/с или bps – bits per second).
- ❑ Максимальная пропускная способность зависит от *полосы пропускания* канала связи и *отношения сигнал/шум* и может быть рассчитана по формуле Клода Шеннона:

$$C = F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right),$$

где C – максимальная пропускная способность канала (бит/с); F – ширина полосы пропускания канала (Гц); P_c – мощность сигнала; $P_{ш}$ – мощность шума (помехи).

Основные характеристики канала связи

- ❑ **Реальная скорость передачи данных** по каналу связи обычно **меньше** его **пропускной способности** и зависит от:
 - ❑ параметров каналообразующей аппаратуры;
 - ❑ способов организации передачи данных;
 - ❑ количества узлов, подключенных к каналу связи.

- ❑ **Информационная скорость** (information rate, bitrate) – это скорость передачи битов, измеряемая в бит/с и производных единицах.

- ❑ **Символьная скорость** (symbol rate) или **скорость модуляции** – это скорость изменения символов, измеряемая в бодах или символах в секунду. Каждый символ представляет один или несколько битов информации в зависимости от выбранного способа их кодирования.

Основные характеристики канала связи

- ❑ **Достоверность передачи данных** характеризуется вероятностью ошибочного приема каждого передаваемого бита данных, т.е. частотой появления ошибочных битов.
- ❑ Иногда этот же показатель называют **интенсивностью битовых ошибок** (Bit Error Rate, BER).
- ❑ BER определяется как отношение количества ошибочно принятых битов к общему числу переданных.
- ❑ Повысить достоверность передаваемых данных можно путем повышения помехоустойчивости канала связи.

Методы совместного использования среды передачи

- ❑ **Мультиплексирование** (multiplexing) – это технология передачи данных нескольких каналов с меньшей пропускной способностью по одному каналу с большей пропускной способностью.
- ❑ **Задача мультиплексирования** – выделить каждому каналу связи время, частоту и/или код с минимумом взаимных помех и максимальным использованием характеристик общей среды передачи.
- ❑ В результате мультиплексирования в одном физическом канале создается группа логических каналов. При этом *пропускная способность* физического канала *делится* между всеми *логическими каналами* и *должна быть достаточной*, чтобы обеспечивать необходимые скорости передачи данных по логическим каналам.
- ❑ **Мультиплексор** (multiplexer, MUX) соединяет группу низкоскоростных входных каналов с одним высокоскоростным физическим каналом.
- ❑ **Демультимплексор** (demultiplexer, DEMUX) распределяет данные, полученные из общего физического канала по группе выходных каналов.

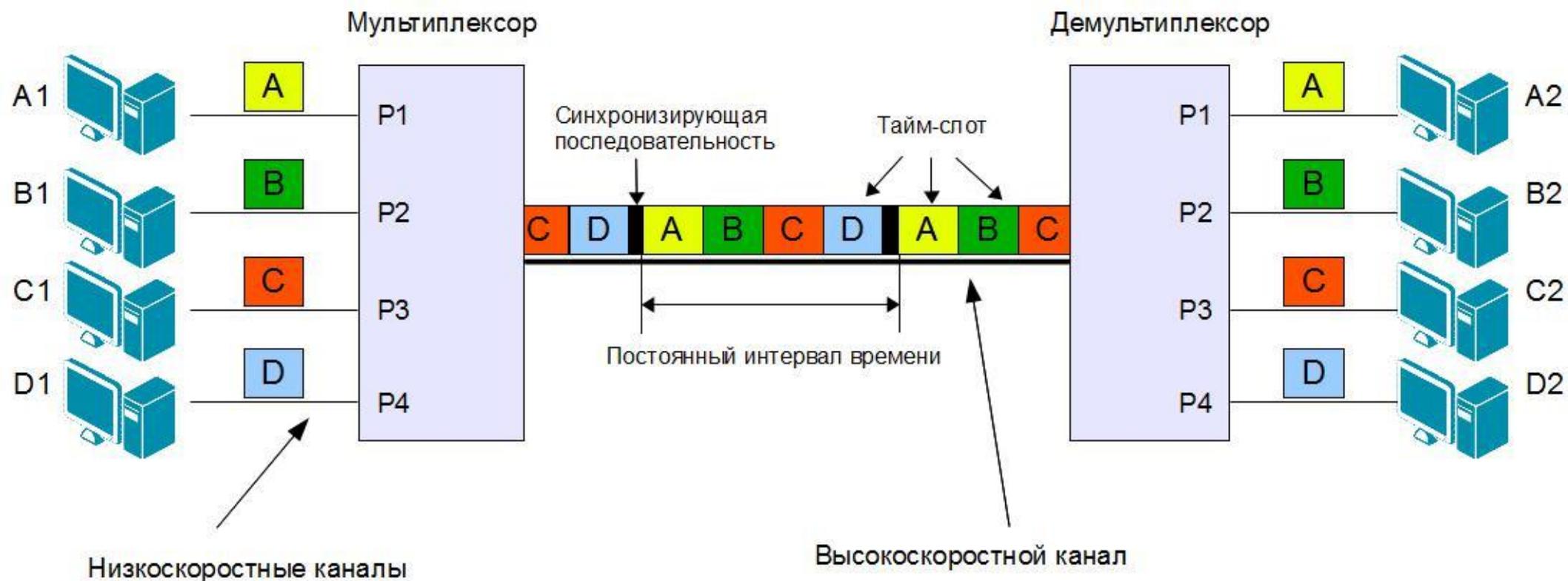
- **В компьютерных сетях используются следующие основные виды мультиплексирования:**
 - временное мультиплексирование (TDM);
 - частотное мультиплексирование (FDM);
 - волновое мультиплексирование (WDM);
 - мультиплексирование с кодовым разделением (CDM).

Методы совместного использования среды передачи

Мультиплексирование с разделением по времени (Time Division Multiplexing, TDM).

- Существуют два типа временного мультиплексирования — *синхронный* и *асинхронный*.

Синхронный TDM



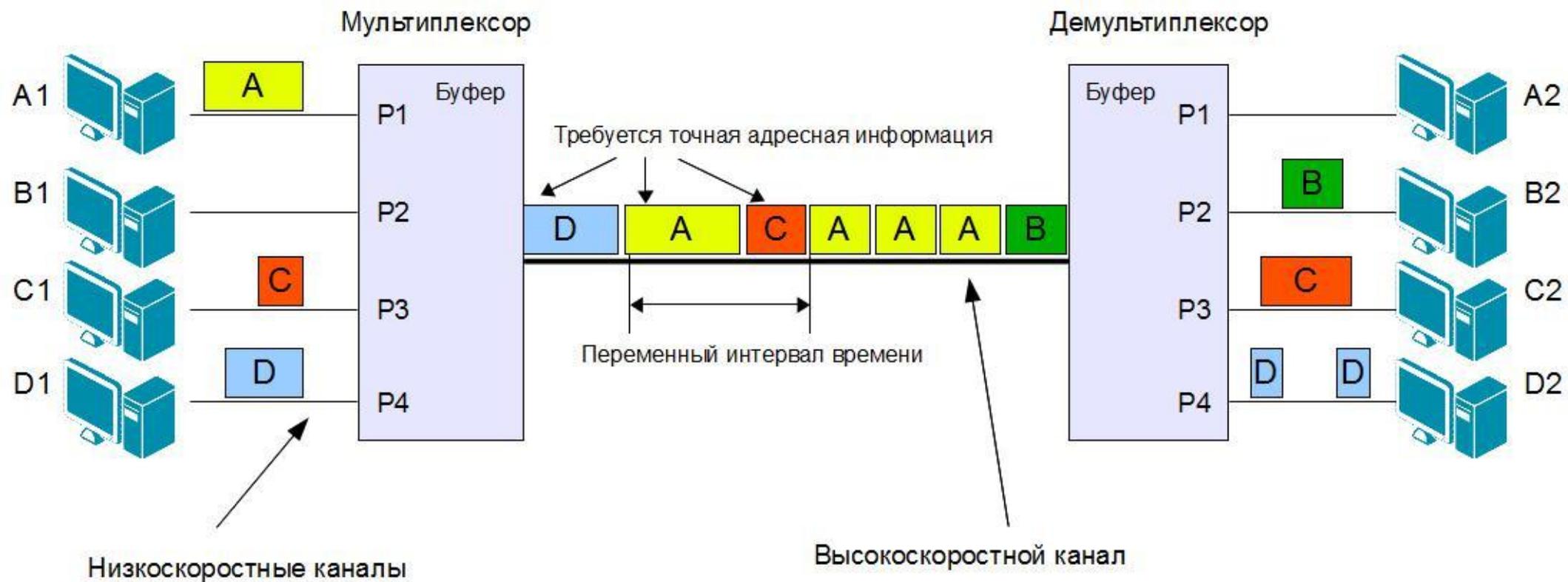
- ❑ **Синхронный TDM** используется *в сетях с коммутацией каналов.*

- ❑ **Достоинства:**
 - ❑ прозрачность для протоколов верхних уровней, т. к. реализуется на физическом уровне модели OSI.

- ❑ **Недостатки:**
 - ❑ если у устройства нет данных для передачи, другое устройство не может передать данные в этот тайм-слот.

- ❑ **Базовые архитектуры, основанные на синхронном TDM:**
 - ❑ системы плезиохронной цифровой иерархии (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy);
 - ❑ цифровые системы передачи SDH/SONET.

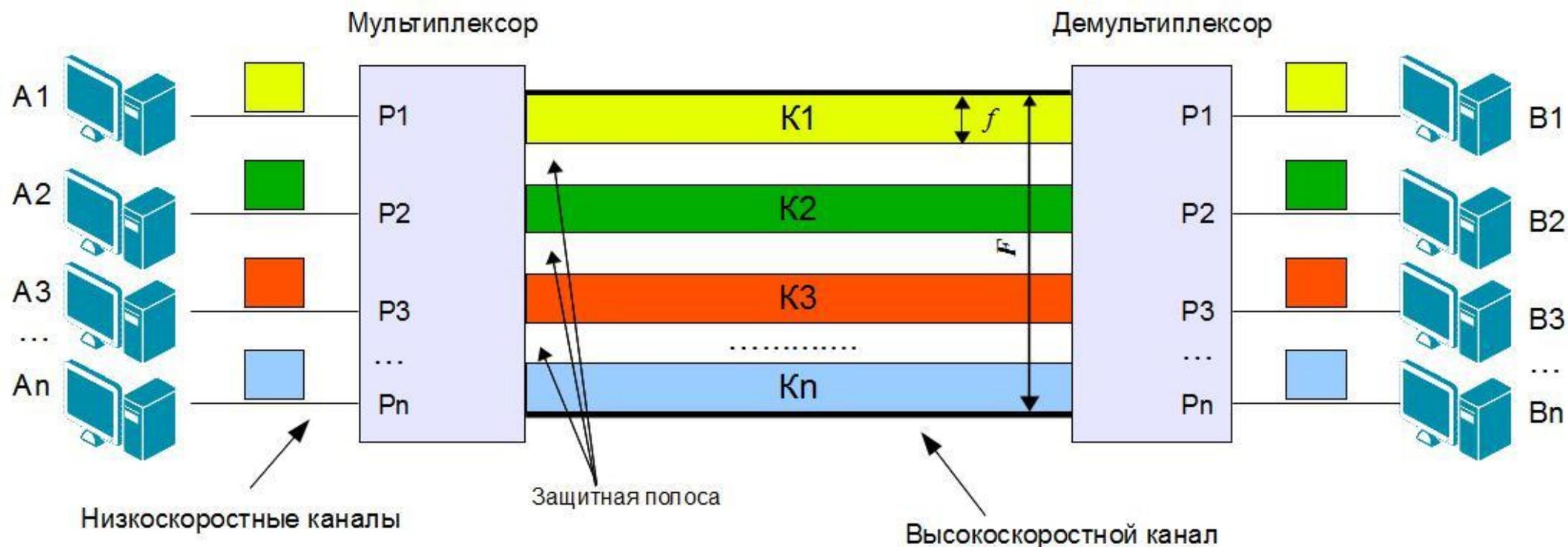
Асинхронный или статистический TDM



- Используется в сетях с коммутацией пакетов и в сетях с коммутацией ячеек.
- Не является прозрачным для протоколов, т.к. реализуется на канальном и более высоких уровнях модели OSI.

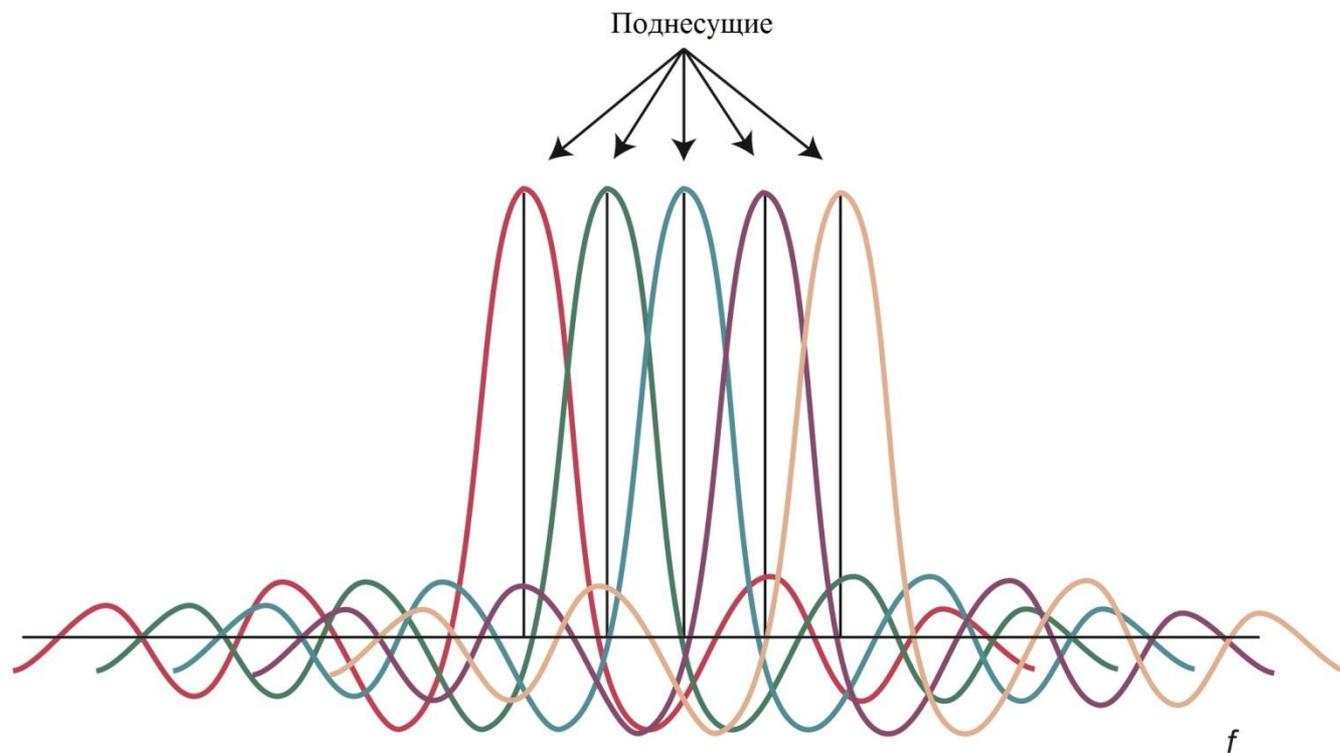
Методы совместного использования среды передачи

Мультиплексирование с разделением по частоте (Frequency Division Multiplexing, FDM).



- **Достоинство** – возможность одновременной передачи сигналов несколькими взаимодействующими системами.
- **Недостаток** – неэффективное использование полосы пропускания общего канала связи.

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*)

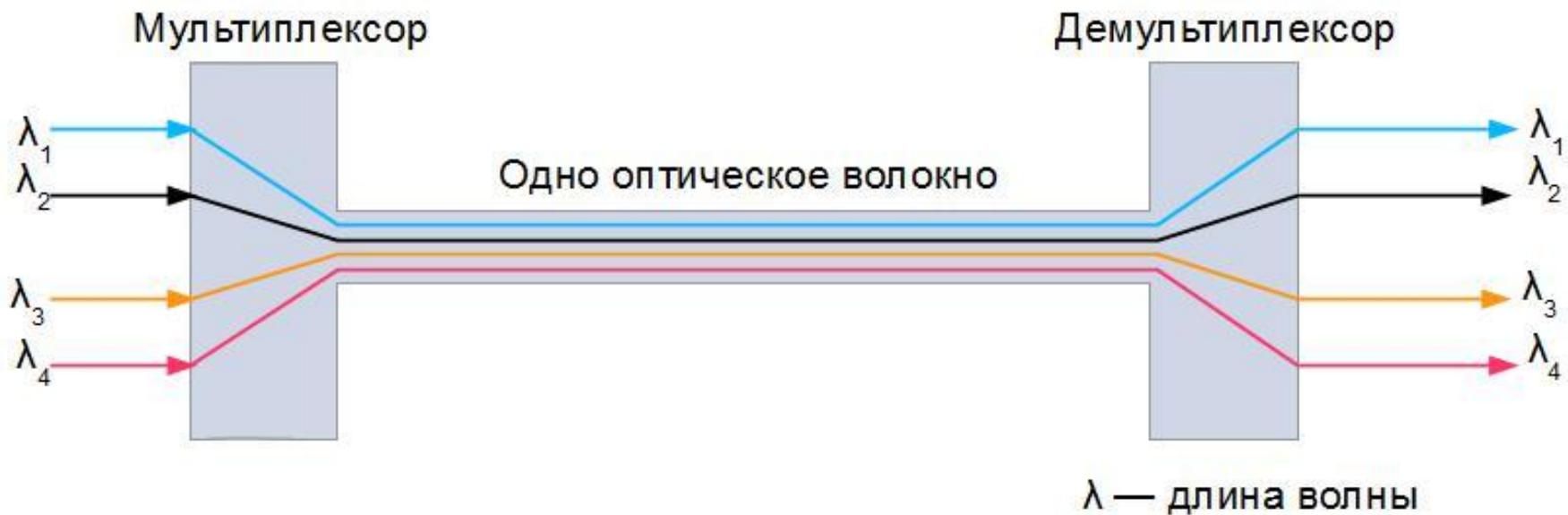


□ **Достоинства:**

- эффективное использование полосы пропускания;
- уменьшение многолучевого распространения и межсимвольной интерференции.

Методы совместного использования среды передачи

Мультиплексирование со спектральным разделением (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*)

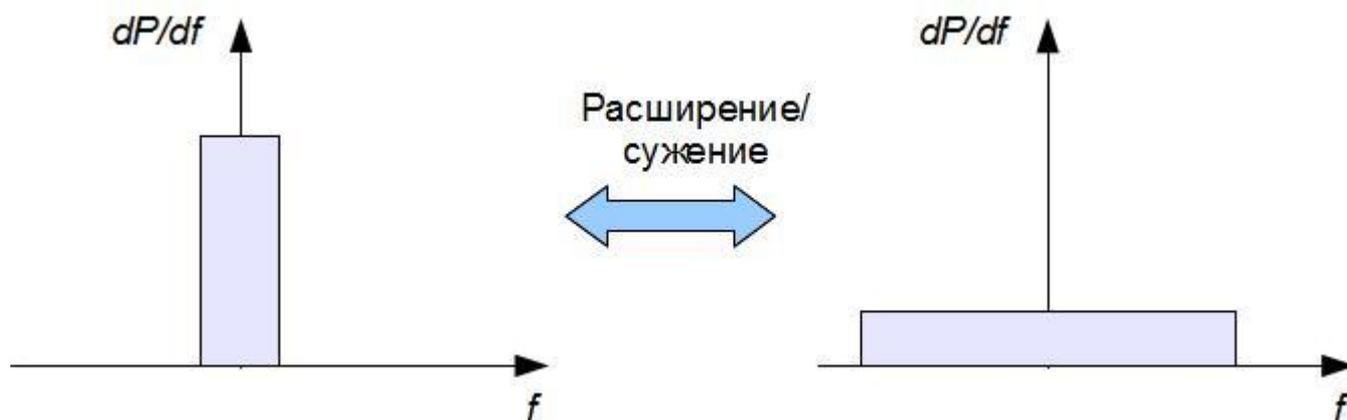


- ❑ **Мультиплексирование с разреженным спектральным разделением (*Coarse WDM*).**
 - ❑ Позволяет использовать до 18 оптических каналов, отстоящих друг от друга на расстоянии 20 нм для передачи оптических сигналов.
 - ❑ Оптические каналы лежат в диапазоне от 1271 до 1611 нм.
 - ❑ Из-за высокого затухания в диапазоне 1271-1451 нм большинство CWDM-реализаций используют 8 каналов в диапазоне 1471-1611 нм.
 - ❑ Данные по каждому каналу могут передаваться со скоростью до 10 Гбит/с.

- ❑ **Мультиплексирование с плотным спектральным разделением (*Dense WDM*).**
 - ❑ Позволяет разместить 40, 80 и даже 160 оптических каналов в узком диапазоне между 1525-1565 нм или 1570-1610 нм.
 - ❑ Оптические каналы отстоят друг от друга на расстоянии около 0,8 нм, 0,4 нм или 0,2 нм.
 - ❑ Данные по каждому каналу передаются со скоростью 10 Гбит/с, при этом возможен дальнейший переход на сервисы 40 Гбит/с и 100 Гбит/с.

Мультиплексирование с кодовым разделением (*Code Division Multiplexing, CDM*).

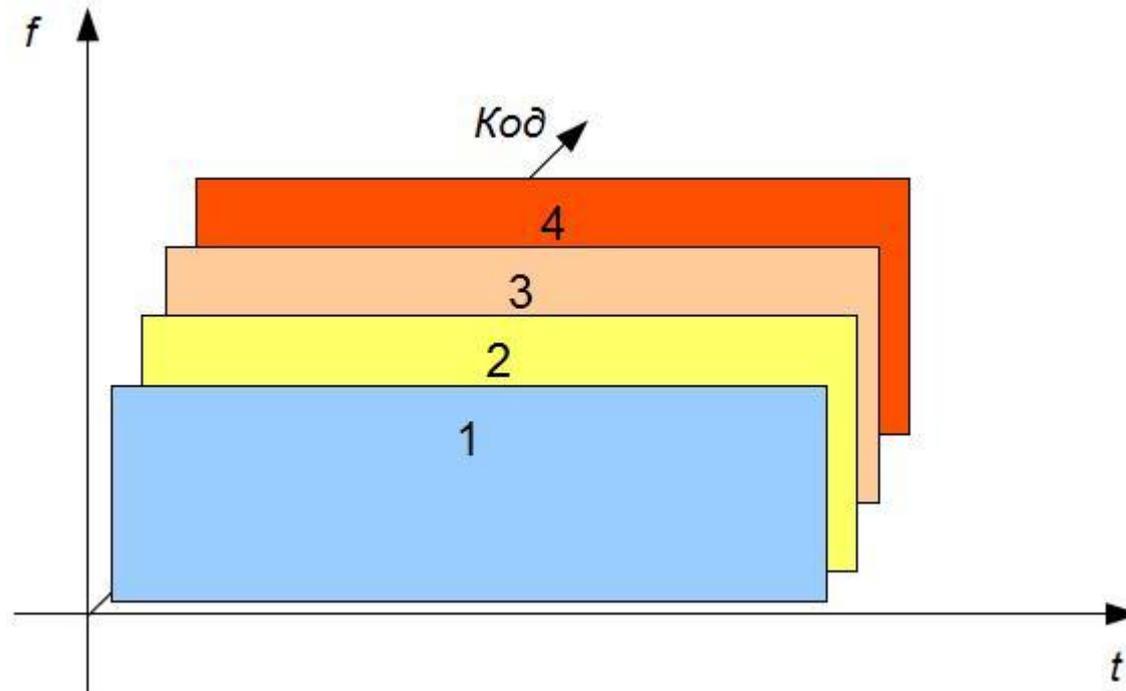
□ CDM основано на *расширении спектра* (Spread Spectrum).



□ Коды расширения:

- подбираются так, чтобы сигнал стал шумоподобным;
- должны быть независимы друг от друга;
- уникальны для каждого передатчика;
- представляют собой последовательность из 11, 16, 32, 64 и т. п. бит.

Мультиплексирование с кодовым разделением (*Code Division Multiplexing, CDM*).



❑ **Достоинства:**

- ❑ повышенная защищенность и скрытность передачи данных.

❑ **Недостатки:**

- ❑ сложность технической реализации приемников;
- ❑ необходимость обеспечения точной синхронизации передатчика и приемника для гарантированного получения блока данных.

Мультиплексирование и методы множественного доступа

❑ **Мультиплексирование** (multiplexing):

- ❑ позволяет множеству пользователей одновременно использовать один общий физический канал для передачи множества сообщений;
- ❑ реализуется на физическом уровне модели OSI.

❑ **Методы множественного доступа** (multiple access):

- ❑ основаны на методах временного, частотного и кодового мультиплексирования;
- ❑ определяют, как логические каналы распределяются между множеством пользователей;
- ❑ упорядочивают ситуацию, в которой несколько пользователей одновременно хотят использовать один канал;
- ❑ реализуются на физическом уровне и *подуровне* MAC (Media Access Control, управление доступом к среде).

□ Методы доступа, основанные на мультиплексировании TDM:

- *множественный доступ с разделением времени (TDMA, Time division multiple access);*
- *множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection, CSMA/CD);*
- *множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA);*
- *передача маркера (Token passing).*

□ Методы доступа, основанные на мультиплексировании FDM:

- *множественный доступ с разделением частоты (Frequency Division Multiple Access, FDMA);*
- *множественный доступ с ортогональным частотным разделением (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA);*
- *множественный доступ с разделением длины волны (Wavelength Division Multiple Access, WDMA).*

- **На мультиплексировании CDM** основан метод *множественного доступа с кодовым разделением (Code Division Multiple Access, CDMA).*

Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ **Модуляция** (modulation) – это процесс изменения одного сигнала в соответствии с формой другого сигнала.
- ❑ **Модулирующий сигнал** (modulating signal) – низкочастотный информационный сигнал, подлежащий передаче по каналу связи.
- ❑ **Модулированный сигнал** (modulated signal) – сигнал, получившийся в результате модуляции.
- ❑ **Демодуляция** (demodulation) – выделение модулирующего сигнала из модулированного колебания.

- ❑ **Основным назначением модуляции является:**
 - сдвиг спектра сигнала в другой частотный диапазон;
 - обеспечение механизма представления информации в наименее чувствительной к помехам и интерференции форме;
 - возможность использования методов мультиплексирования и множественного доступа.

- ❑ **Аналоговая модуляция** (analog modulation) - модуляция аналогового сигнала на основе несущей.
- ❑ **Цифровая модуляция** (digital modulation) или **манипуляция** – модуляция цифрового сигнала на основе несущей.
- ❑ Несущая, как правило, требуется при передаче данных через телефонные провода, атмосферу или оптический кабель. Однако в некоторых случаях модуляция может выполняться на основе дискретных сигналов в виде импульсов.
- ❑ Для передачи сигналов на основе периодических последовательностей импульсов используется **импульсная модуляция** (pulse modulation).
- ❑ При передаче цифровых сигналов через основополосные каналы связи применяются методы **линейного** или **цифрового кодирования сигналов** (line coding).

□ Аналоговая модуляция:

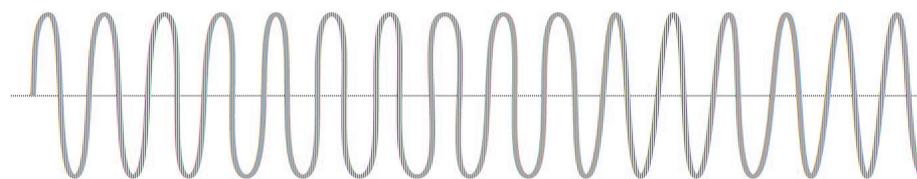
- основана на передаче аналогового низкочастотного сигнала с помощью высокочастотной несущей;
 - используется в радиовещании при работе нескольких радиостанций в общей среде передачи.
- Основным видом несущих сигналов являются гармонические колебания, которые имеют три свободных параметра *амплитуду, фазу и частоту*.

□ Методы аналоговой модуляции:

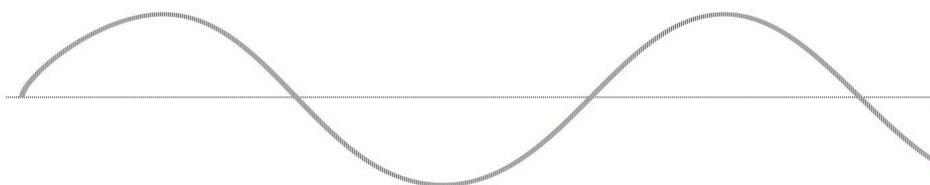
- амплитудная модуляция (Amplitude Modulation, AM);
- частотная модуляция (Frequency Modulation, FM);
- фазовая модуляция (Phase Modulation, PM).

Модуляция и кодирование сигналов

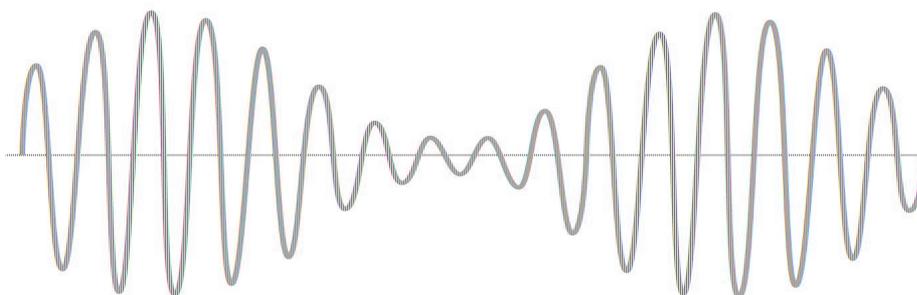
Амплитудная и частотная модуляция аналогового сигнала



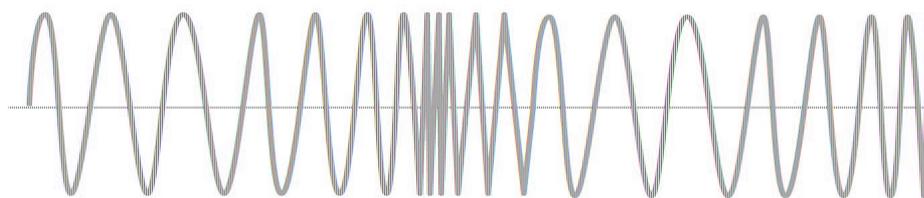
Сигнал несущей



Модулирующий сигнал

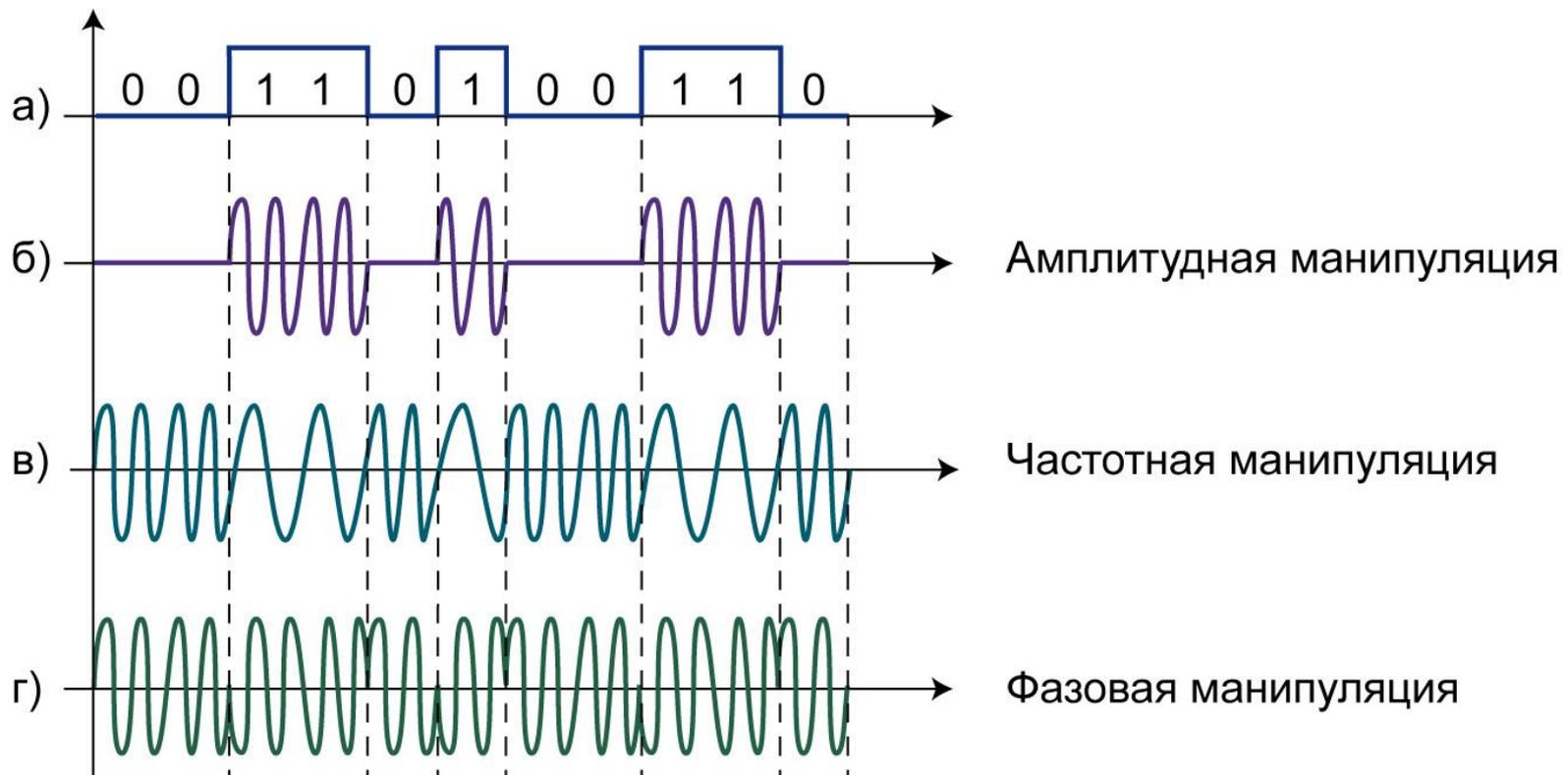


Амплитудная модуляция



Частотная модуляция

- ❑ Процесс передачи цифровых данных с помощью несущей называется **цифровой модуляцией** или **манипуляцией** (Shift Keying).
- ❑ **Методы цифровой модуляции:**
 - ❑ амплитудная манипуляция (Amplitude-Shift Keying, ASK);
 - ❑ частотная манипуляция (Frequency-Shift Keying, FSK);
 - ❑ фазовая манипуляция (Phase-Shift Keying, PSK).



- При **амплитудной манипуляции** (ASK) значения «0» и «1» представляются сигналами несущей частоты с двумя различными амплитудами. Одна из амплитуд, как правило, выбирается равной нулю; т. е. одно двоичное число представляется наличием несущей частоты при постоянной амплитуде, а другое – ее отсутствием.

$$y(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & - \text{двоичная } 1 \\ 0 & - \text{двоичный } 0 \end{cases} ,$$

где $A \cos(2\pi f_c t)$ – несущий сигнал, $y(t)$ – результирующий сигнал.

- Амплитудная манипуляция является частным случаем *квадратурной амплитудной модуляции*.

- При **частотной манипуляции** (FSK) цифровая информация представляется изменением частоты несущего сигнала. Самой простейшей формой частотной манипуляции является **бинарная** (Binary FSK, BFSK), в которой значения «0» и «1» представляются сигналами двух различных частот, расположенных около несущей.

$$y(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) - \text{двоичная } 1 \\ A \cos(2\pi f_2 t) - \text{двоичный } 0 \end{cases},$$

где f_1 и f_2 – частоты, смещенные от несущей частоты f_c на величины, равные по модулю, но противоположные по знаку.

- Частотная манипуляция использовалась в первых модемах и позволяла осуществлять дуплексную передачу данных в телефонных линиях.

- ❑ При **фазовой манипуляции** (PSK) для представления данных выполняется изменение фазы несущего сигнала.
- ❑ В настоящее время разработано несколько вариантов фазовой манипуляции, которые широко применяются для передачи данных на разных скоростях в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11.
- ❑ Наиболее простой фазовой манипуляцией является **бинарная** или **двухуровневая фазовая манипуляция** (Binary PSK, BPSK), где для представления двух двоичных цифр используются две фазы несущего сигнала 0° и 180° .

$$y(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{– двоичная } 1 \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{– двоичный } 0 \end{cases}$$

- ❑ BPSK является самой устойчивой к помехам фазовой манипуляцией, но при каждом изменении сигнала может переносить только 1 бит информации. Это делает ее непригодной для высокоскоростных приложений.

- ❑ Альтернативной формой двухуровневой PSK является **дифференциальная двухуровневая PSK** (Differential BPSK, DBPSK).
- ❑ Суть DBPSK заключается в том, что кодируется не сам бит информации, а его изменение.
- ❑ При передаче двоичного 0 фаза несущего сигнала не изменяется, при передаче двоичной 1 фаза несущего сигнала меняется на противоположную. Другими словами сдвиг фаз выполняется относительно предыдущего переданного бита.

- ❑ **Квадратурная** или **четырёхуровневая фазовая манипуляция** (Quadrature PSK, QPSK) использует четыре значения фазы несущего сигнала, и каждое состояние фазы выполняет передачу сразу двух битов информации.
- ❑ В QPSK, вместо сдвига фазы на 180° , используются сдвиги фаз, кратные $\pi/2$ (90°). При этом значения битов выбраны таким образом, чтобы при переходе к соседнему состоянию фазы несущего сигнала ошибки на приеме приводили не более чем к одиночной битовой ошибке.

$$y(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) & - 11 \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) & - 10 \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}) & - 00 \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}) & - 01 \end{cases}$$

- ❑ При **дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции** (Differential QPSK, DQPSK) изменение фазы происходит при изменении информационных битов.

- ❑ **Квадратурная амплитудная модуляция** (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) является широко используемым в стандартах беспроводных и проводных сетей методом аналоговой передачи сигналов.
- ❑ Совмещает в себе амплитудную и фазовую манипуляции.
- ❑ В методе QAM использованы преимущества одновременной передачи двух различных сигналов на одной несущей частоте, но при этом задействованы две копии несущей частоты, сдвинутые относительно друг друга на 90° .
- ❑ При квадратурной амплитудной модуляции обе несущие являются амплитудно-модулированными.
- ❑ Два независимых сигнала одновременно передаются через одну среду. В приемнике эти сигналы демодулируются, а результаты объединяются с целью восстановления исходного двоичного сигнала.

□ Импульсная модуляция:

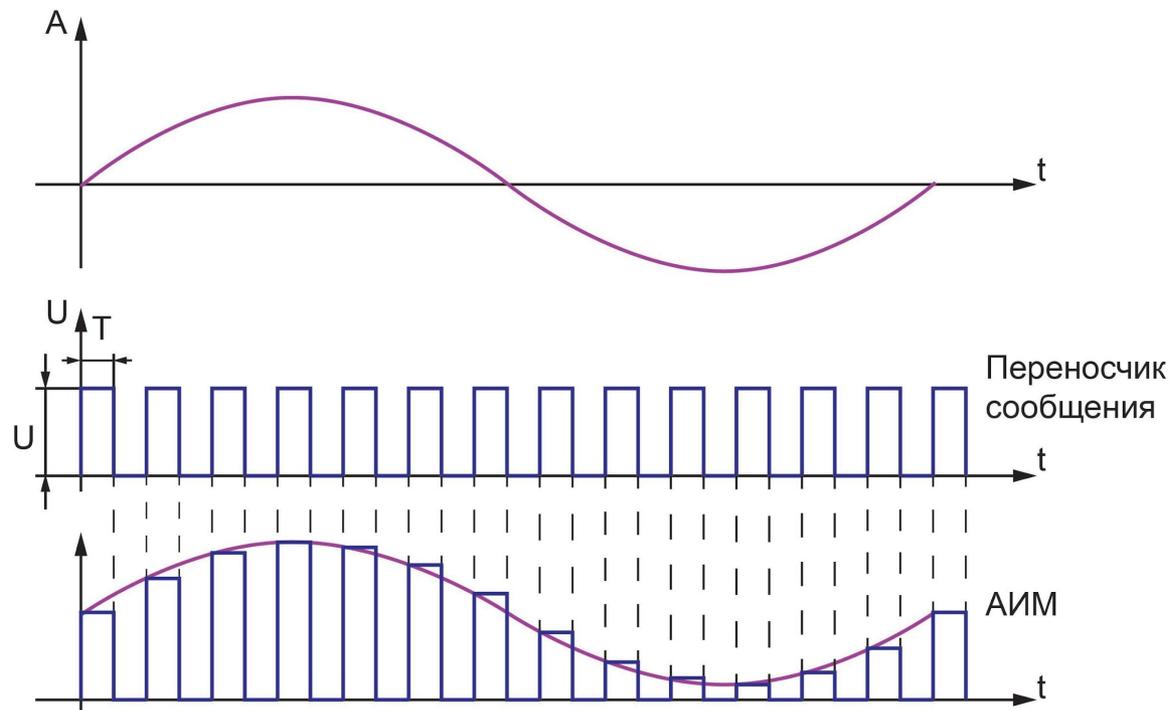
- используется при передаче дискретизированных данных по цифровым каналам связи;
- в качестве несущей использует не гармонический сигнал, а периодические последовательности импульсов;
- позволяет выполнять одновременную передачу сигналов по одному каналу связи, используя мультиплексирование с разделением по времени.

□ Методы импульсной модуляции:

- амплитудно-импульсная модуляция;
- частотно-импульсная модуляция;
- широтно-импульсная модуляция;
- позиционно-импульсная модуляция;
- импульсно-кодовая модуляция.

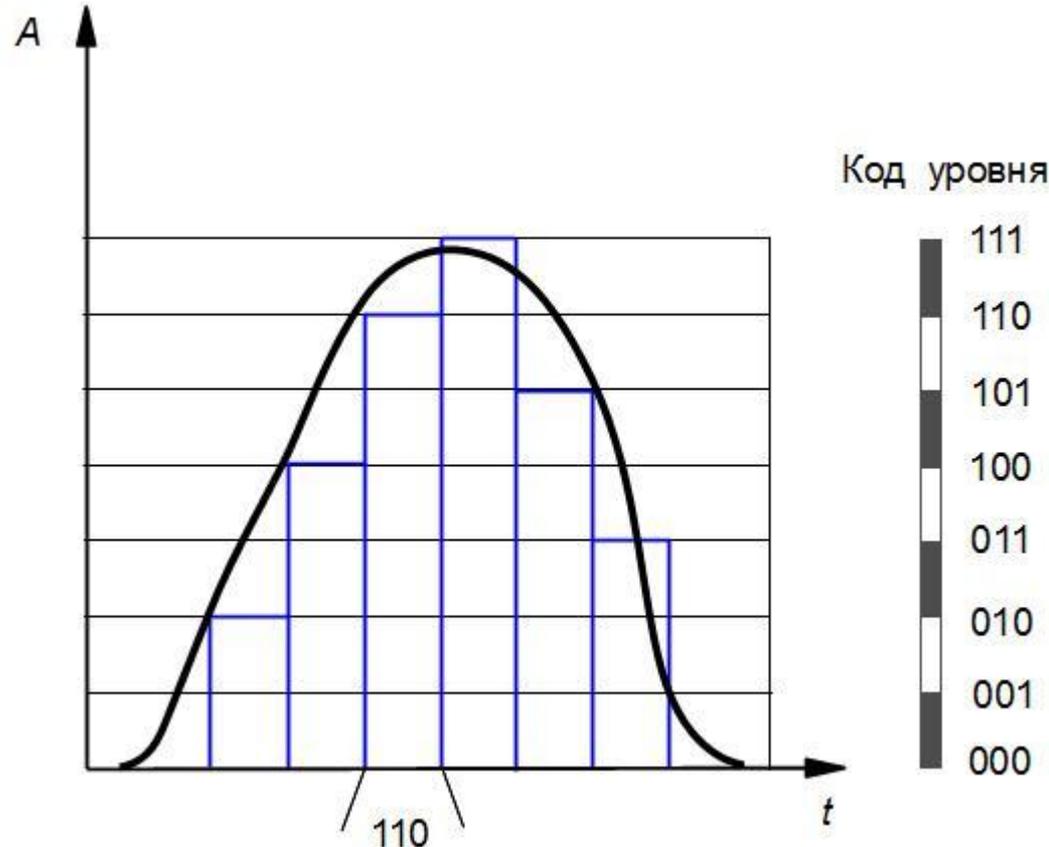
Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ При **амплитудно-импульсной модуляции** (АИМ) (Pulse Amplitude Modulation, PAM) для представления данных выполняется изменение амплитуды импульсов. Остальные параметры импульсов не изменяются.
- ❑ В случае модуляции аналоговых данных амплитуда импульсов изменяется пропорционально амплитуде модулирующего сигнала, а количество амплитуд импульсов теоретически может быть неограниченным.
- ❑ При передаче цифровых данных количество возможных амплитуд ограничено какой-либо степенью двойки.



- ❑ **Широтно-импульсная модуляция** (ШИМ) (Pulse Width Modulation, PWM), которую иногда называют модуляцией по длительности импульсов (ДИМ), заключается в управлении длительностью импульсов пропорционально функции модулирующего сигнала при постоянной амплитуде импульсов и периоде следования по фронту импульсов.
- ❑ При осуществлении **позиционно-импульсной модуляции** (ПИМ) (Pulse Position Modulation, PPM) импульсы имеют одинаковую амплитуду и длительность, однако отстоят от начала периода на интервалы времени, пропорциональные информационному сигналу. Обычно этот тип модуляции используется при передаче данных по оптическим каналам связи.

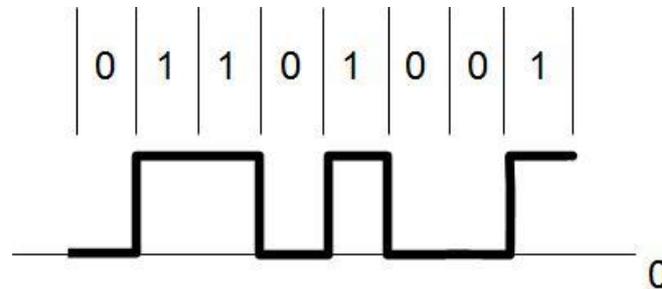
- ❑ **Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) (Pulse Code Modulation, PCM)** является методом преобразования аналоговых данных в цифровой сигнал. Далее этот цифровой сигнал может быть передан через цифровой канал связи, используя один из методов физического кодирования, или преобразован в аналоговый сигнал с помощью одного из методов модуляции.



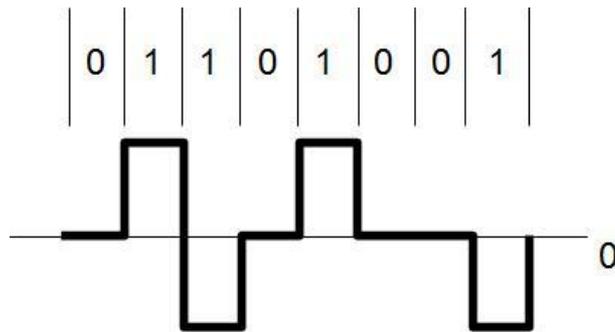
- ❑ Импульсно-кодовая модуляция широко используется в IP-телефонии.

Модуляция и кодирование сигналов

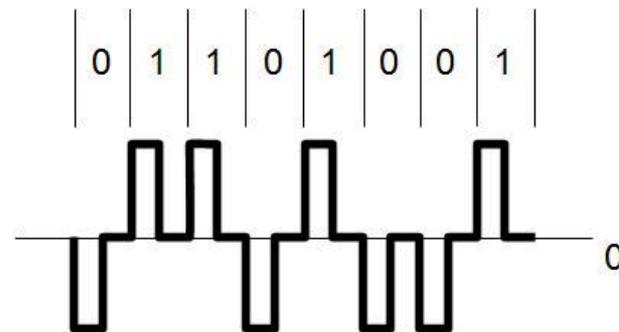
- ❑ **Цифровое кодирование** (цифровая основополосная модуляция) служит для передачи цифровых данных через основополосные каналы связи.
- ❑ При цифровом кодировании цифровой информации применяют *потенциальные* и *импульсные* коды.
- ❑ В **потенциальных кодах** для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала (уровень напряжения).



- ❑ **Импульсные коды** позволяют представить двоичные данные изменением полярности импульса (а) или перепадом напряжения (б).



а)



б)

- ❑ **Требования, предъявляемые к методам цифрового кодирования:**
 - ❑ минимизация спектра результирующего сигнала при одной и той же битовой скорости;
 - ❑ возможность распознавания и исправления ошибок;
 - ❑ поддержка синхронизации между приемником и передатчиком;
 - ❑ низкая стоимость реализации.

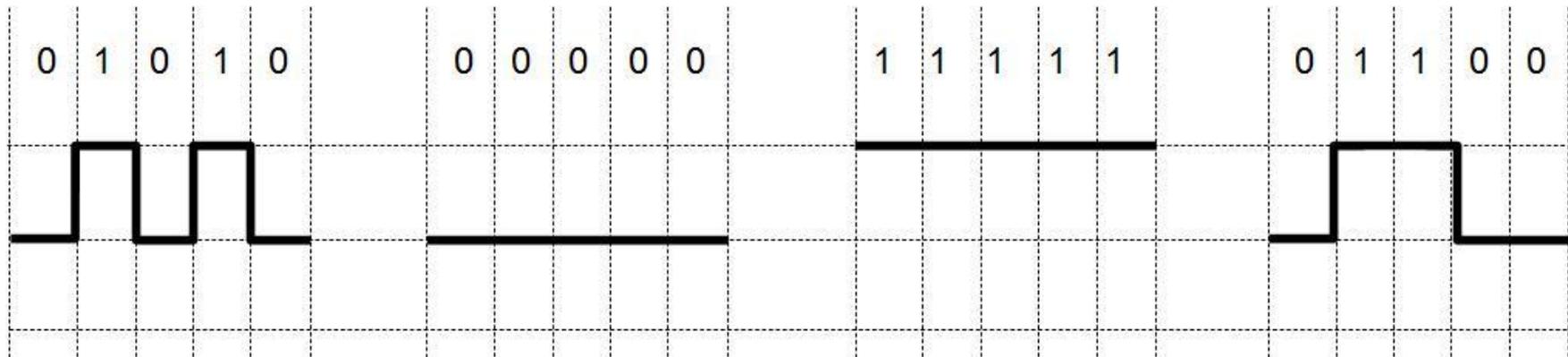
- ❑ **В общем случае кодирование может быть двухступенчатым:**
 - ❑ логическое кодирование;
 - ❑ физическое кодирование.

- ❑ **Физическое кодирование** – способ представления дискретной информации в виде электрических или оптических сигналов, подаваемых на линию связи.

- ❑ **Наиболее часто используемые способы физического кодирования:**
 - ❑ *Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ, Non Return to Zero);*
 - ❑ *Потенциальный код без возврата к нулю с инверсией при единице (NRZI, Non Return to Zero with one Inverted);*
 - ❑ *Манчестерский код (Manchester code);*
 - ❑ *Код трехуровневой передачи MLT-3 (Multi Level Transmission-3).*

Модуляция и кодирование сигналов

- В методе **потенциального кодирования без возврата к нулю (NRZ)** нижний потенциал соответствует 0, верхний – 1. Переходы происходят на границе такта. При передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта.



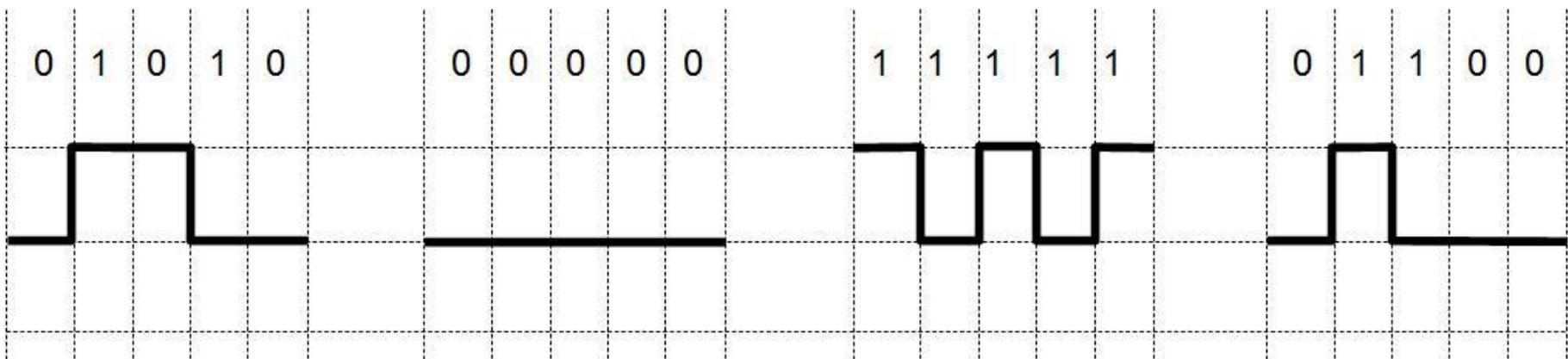
- **Достоинства:**

- прост в реализации;
- обладает хорошей помехоустойчивостью (благодаря наличию двух резко отличающихся уровней сигнала).

- **Недостатки:**

- наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к постоянному сигналу при передаче длинных последовательностей единиц и нулей.
- Код NRZ используется на физическом уровне стандартов 1000BASE-SX, 1000BASE-LX.

- ❑ **Потенциальный код без возврата к нулю с инверсией при единице (NRZI)** при передаче 0 передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (уровень сигнала не меняется), а при передаче 1 потенциал инвертируется на противоположный.



- ❑ **Достоинства:**

- ❑ обладает лучшей, по сравнению с NRZ, самосинхронизацией в том случае, если в кодируемой информации логических единиц больше, чем логических нулей.

- ❑ **Недостатки:**

- ❑ не обеспечивает должной самосинхронизации при появлении длинных последовательностей логических нулей.
- ❑ Код NRZI используется на физическом уровне спецификации 100BASE-FX Fast Ethernet.

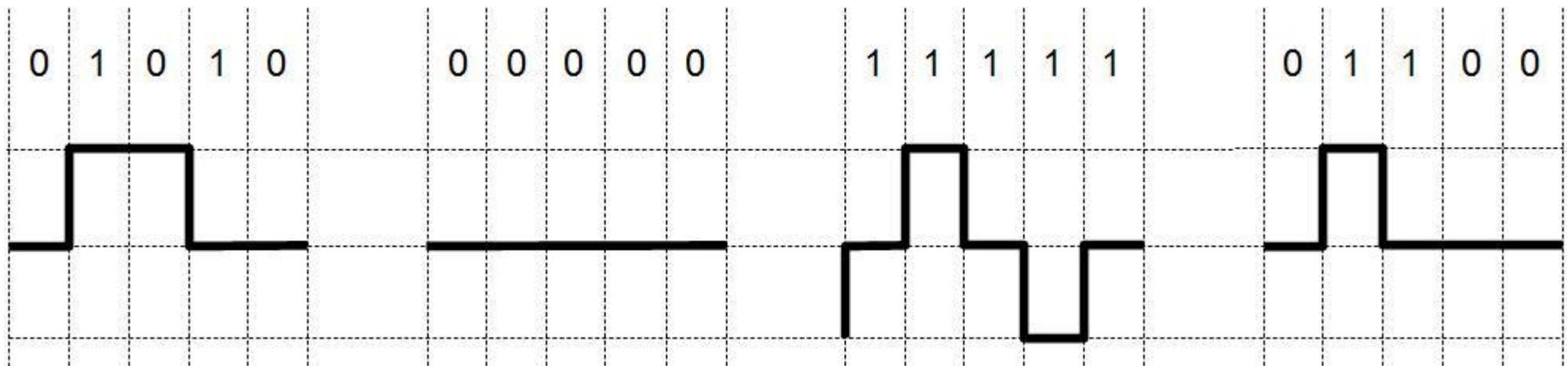
Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ В **манчестерском коде** (Manchester code) для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса.
- ❑ Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта: *1* кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, *0* – обратным перепадом. Этот перепад используется для синхронизации между передатчиком и приемником.



- ❑ Ширина спектра при манчестерском кодировании в два раза шире, чем при NRZ-кодировании.
- ❑ Данный метод используется на физическом уровне спецификаций Ethernet 10 Мбит/с (10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BASE-F).

- ❑ **Код трехуровневой передачи MLT-3** использует три уровня сигнала: +1, 0 и -1.
- ❑ 1 кодируется переходом с одного уровня сигнала на другой. При передаче 0 сигнал не меняется.



❑ Недостатки:

- ❑ отсутствие должной синхронизации при появлении длинных последовательностей логических нулей.
- ❑ Код MLT-3 используется на физическом уровне спецификации 100BASE-TX Fast Ethernet совместно с методом логического кодирования 4B/5B.

- ❑ **Логическое кодирование** выполняется до физического кодирования и позволяет бороться с недостатками потенциальных кодов типа NRZ, NRZI или MLT-3.

- ❑ **Логическое кодирование позволяет решить следующие задачи:**
 - ❑ исключить длинные последовательности нулей и единиц, приводящие к потере синхронизации;
 - ❑ обеспечить распознавание границ кадра и особых состояний в непрерывном битовом потоке;
 - ❑ улучшить спектральные характеристики сигнала.

- ❑ **Для логического кодирования применяются два метода:**
 - ❑ избыточные коды;
 - ❑ скрэмблирование.

Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ **Избыточное кодирование** основано на разбиении исходной последовательности битов на участки одинаковой длины – символы. Затем каждый символ заменяется (как правило, табличным способом) на новый, имеющий большее количество битов.

- ❑ **Наиболее распространенными типами избыточного кодирования являются логические коды:**
 - ▢ *4B/5B* (100BASE-TX и 100BASE-FX);
 - ▢ *8B/10B* (1000BASE-SX, 1000BASE-LZ);
 - ▢ *64B/66B* (10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-LRM, 10GBASE-KR).

| <i>Двоичный код 4B</i> | <i>Результирующий код 5B</i> |
|------------------------|------------------------------|
| 0000 | 11110 |
| 0001 | 01001 |
| 0010 | 10100 |
| 0011 | 10101 |
| 0100 | 01010 |
| 0101 | 01011 |
| 0110 | 01110 |
| 0111 | 01111 |
| 1000 | 10010 |
| 1001 | 10011 |
| 1010 | 10110 |
| 1011 | 10111 |
| 1100 | 11010 |
| 1101 | 11011 |
| 1110 | 11100 |
| 1111 | 11101 |

- ❑ **Скремблирование** (scramble) заключается в побитовом преобразовании исходной последовательности нулей и единиц с помощью псевдослучайного битового потока.
- ❑ Скремблирование осуществляется путем побитовой операции исключающего *ИЛИ* (*XOR*) исходной последовательности с псевдослучайной последовательностью.

- ❑ **Достоинства:**
 - ❑ отсутствие избыточных кодов.
- ❑ **Недостатки:**
 - ❑ необходимость реализации на узлах связи алгоритма скремблирования/дескремблирования.

В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей.

□ В настоящее время наиболее употребительными стандартами в мировой практике являются следующие:

- Американский стандарт EIA/TIA-568.
- Международный стандарт ISO/IEC 11801.
- Европейский стандарт EN50173.

□ Кабели можно разделить на две группы:

□ электрические:

- ✓ витая пара;
- ✓ коаксиальный кабель;
- ✓ твинаксиальный кабель.

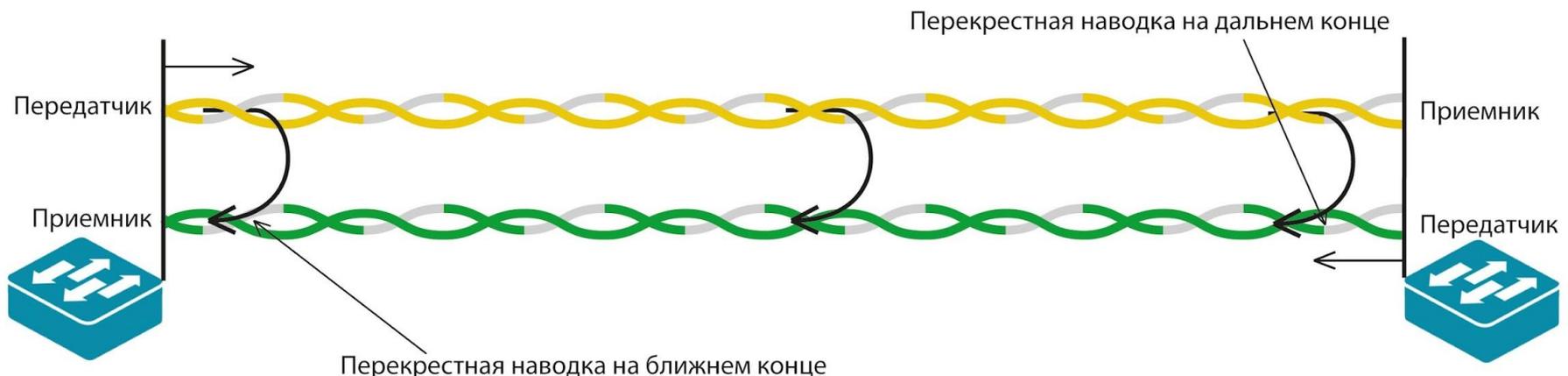
□ волоконно-оптические:

- ✓ одномодовый оптический кабель;
- ✓ многомодовый оптический кабель.

- **Основными параметрами электрических кабелей**, представляющими практический интерес и нормируемыми действующими редакциями стандартов, являются:
 - затухание (коэффициент затухания);
 - перекрестные наводки на ближнем конце (NEXT) и дальнем конце (FEXT);
 - импеданс (волновое сопротивление);
 - активное сопротивление;
 - емкость;
 - диаметр или площадь сечения проводника.

- ❑ **Затухание сигнала** – уменьшение мощности (амплитуды) сигнала при передаче между двумя точками.
- ❑ Является одним из основных параметров, учитываемых при проектировании канала связи и расчета максимальной длины кабеля.
- ❑ Измеряется в *децибелах на метр* [Дб/м].
- ❑ Зависит от частоты сигнала.

- ❑ **Перекрестные наводки на ближнем конце (NEXT) и дальнем конце (FEXT)** являются результатом интерференции сигналов, передаваемых по соседним парам проводников.
- ❑ Значения NEXT и FEXT зависят от частоты сигнала.
- ❑ Измеряются в *децибелах* [Дб] для определенной частоты сигнала.
- ❑ Чем *больше* абсолютное значение NEXT (по модулю, т.к. значение этого параметра отрицательное), тем *меньше* уровень наводок от соседних пар.
- ❑ Перекрестные наводки на дальнем конце (FEXT) создают меньше наводок, чем NEXT, т.к. при передаче на большие расстояния сигнал ослабевает.



- ❑ **Импеданс** – это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи.
- ❑ Измеряется в Омах.
- ❑ Зависит от частоты.
- ❑ Является относительно постоянной величиной для кабельных систем (в области высоких частот (свыше 100 МГц)).
- ❑ Резкие изменения импеданса по длине кабеля могут вызывать процессы внутреннего отражения, приводящие к возникновению стоячих волн. Из-за этого узлы, находящиеся вблизи источника стоячей волны не будут получать адресованные им данные.

- ❑ **Активное сопротивление** – это сопротивление постоянному току в электрической цепи.
- ❑ Активное сопротивление:
 - ❑ не зависит от частоты;
 - ❑ возрастает с увеличением длины кабеля;
 - ❑ измеряется в Омах.

- ❑ **Емкость** – это свойство металлических проводников накапливать электрическую энергию.
- ❑ Этот параметр является нежелательным.
- ❑ Чем меньше значение емкости в кабеле, тем лучше, т.к. высокое значение приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания канала связи.

Диаметр или площадь сечения проводника

- ❑ В европейских и международных стандартах диаметр проводника указывается в *миллиметрах*.
- ❑ В современных компьютерных сетях для медных проводников принято использовать американскую систему маркирования **AWG** (American Wire Gauge, американский калибр проводов).
 - ❑ Например: 22AWG, 24AWG, 26AWG.
- ❑ Чем меньше номер AWG, тем больше диаметр проводника и ниже его сопротивление.

- ❑ **Коаксиальный кабель (Coaxial cable)** – электрический кабель, состоящий из соосно-расположенных центрального проводника и экрана, и служащий для передачи высокочастотных сигналов.



- ❑ **«Толстый» кабель RG-8 и RG-11:**
 - ❑ волновое сопротивление 50 Ом;
 - ❑ диаметр около 12 мм;
 - ❑ расстояние передачи до 500 м;
 - ❑ разработан для сетей Ethernet 10BASE5;
 - ❑ имеет хорошую помехозащищенность и небольшое затухание.
- ❑ **«Тонкий» кабель RG-58:**
 - ❑ волновое сопротивление 50 Ом;
 - ❑ диаметр около 6 мм;
 - ❑ расстояние передачи до 185 м;
 - ❑ разработан для сетей Ethernet 10BASE2;
 - ❑ обладает меньшей помехозащищенностью по сравнению с «толстым» кабелем.

- ❑ **Твинаксиальный кабель** – это высококачественный электрический кабель, похожий по конструкции на коаксиальный кабель, но содержащий два внутренних проводника.
- ❑ **Характеристики твинаксиального кабеля:**
 - ❑ диаметр проводников лежит в диапазоне от 30 AWG до 24 AWG;
 - ❑ волновое сопротивление 100 Ом;
 - ❑ используется в высокоскоростных сетях Ethernet спецификаций 10GBASE-CX4, 40GBASE-CR4 и 100GBASE-CR10.



Твинаксиальный кабель

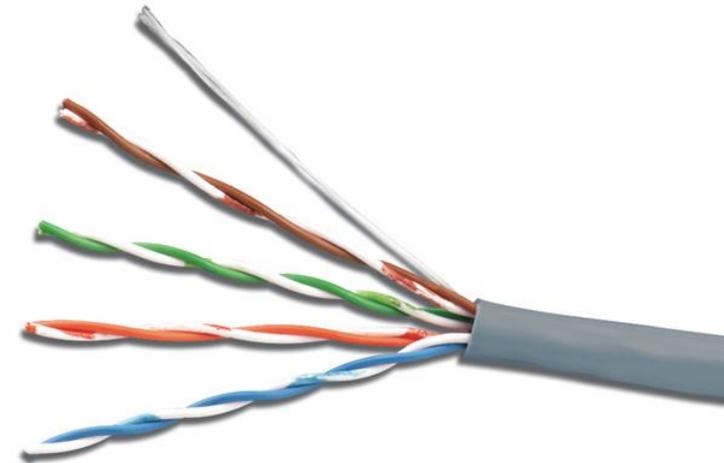
- Для достижения наилучших характеристик производительности рекомендуется, чтобы твинаксиальные кабели для сетей спецификаций 10GBASE-CX4, 40GBASE-CR4 и 100GBASE-CR10 имели заводскую терминацию.



❑ **Витая пара** (twisted pair) – изолированные проводники, попарно скрученные между собой с необходимым числом раз на единицу длины и заключенные в пластиковую оболочку.

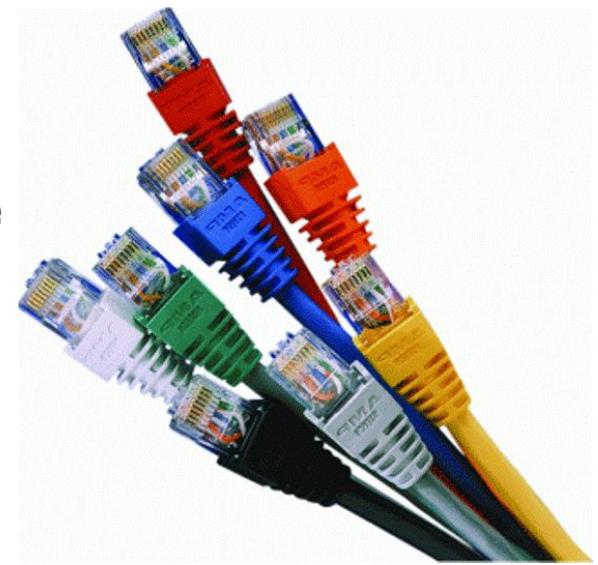
❑ **Характеристики:**

- ❑ попарное скручивание проводов позволяет уменьшить воздействие перекрестных помех;
- ❑ содержит несколько витых пар: обычно в пучке 2, 4, 6, 8, 25, 50 или 100 пар;
- ❑ проводники в парах изготавливаются из меди;
- ❑ толщина проводников в метрической системе – от 0,4 до 0,6 мм;
- ❑ толщина проводников в американской системе AWG – от 26 до 22AWG.



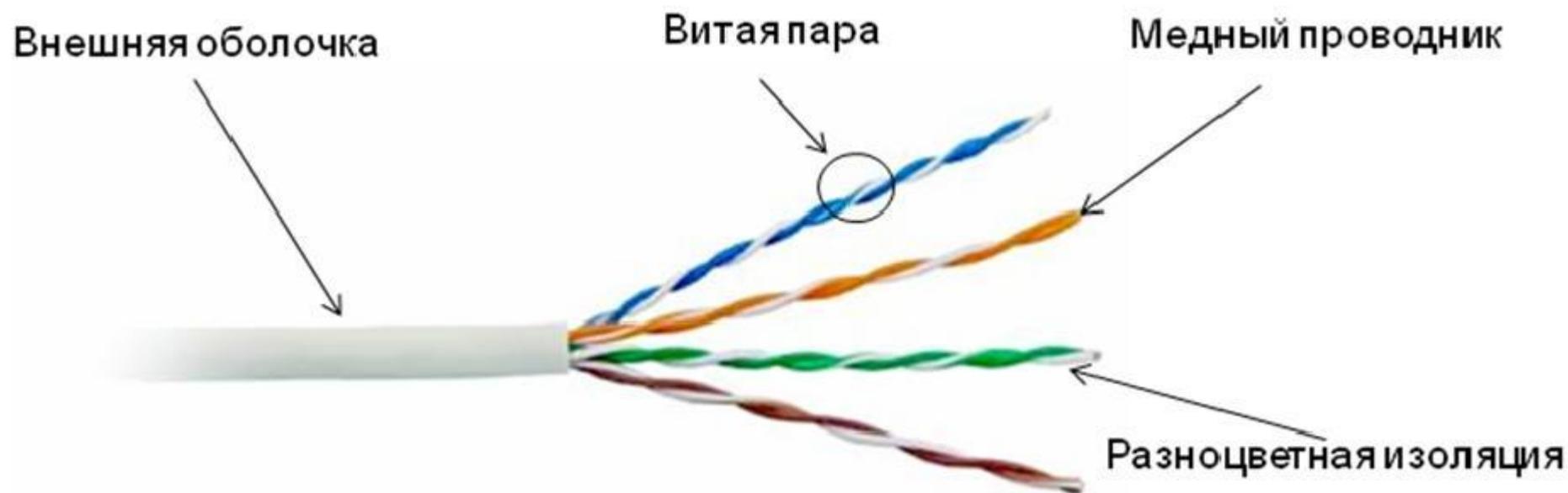
❑ **Существуют два основных типа кабелей на основе витой пары:**

- ❑ **неэкранированная витая пара** (UTP, Unshielded Twisted Pair);
- ❑ **экранированная витая пара** (STP, Shielded Twisted Pair).



Неэкранированная витая пара (UTP)

- Не имеет дополнительного экрана, обеспечивающего защиту от электромагнитных наводок и несанкционированного подслушивания.

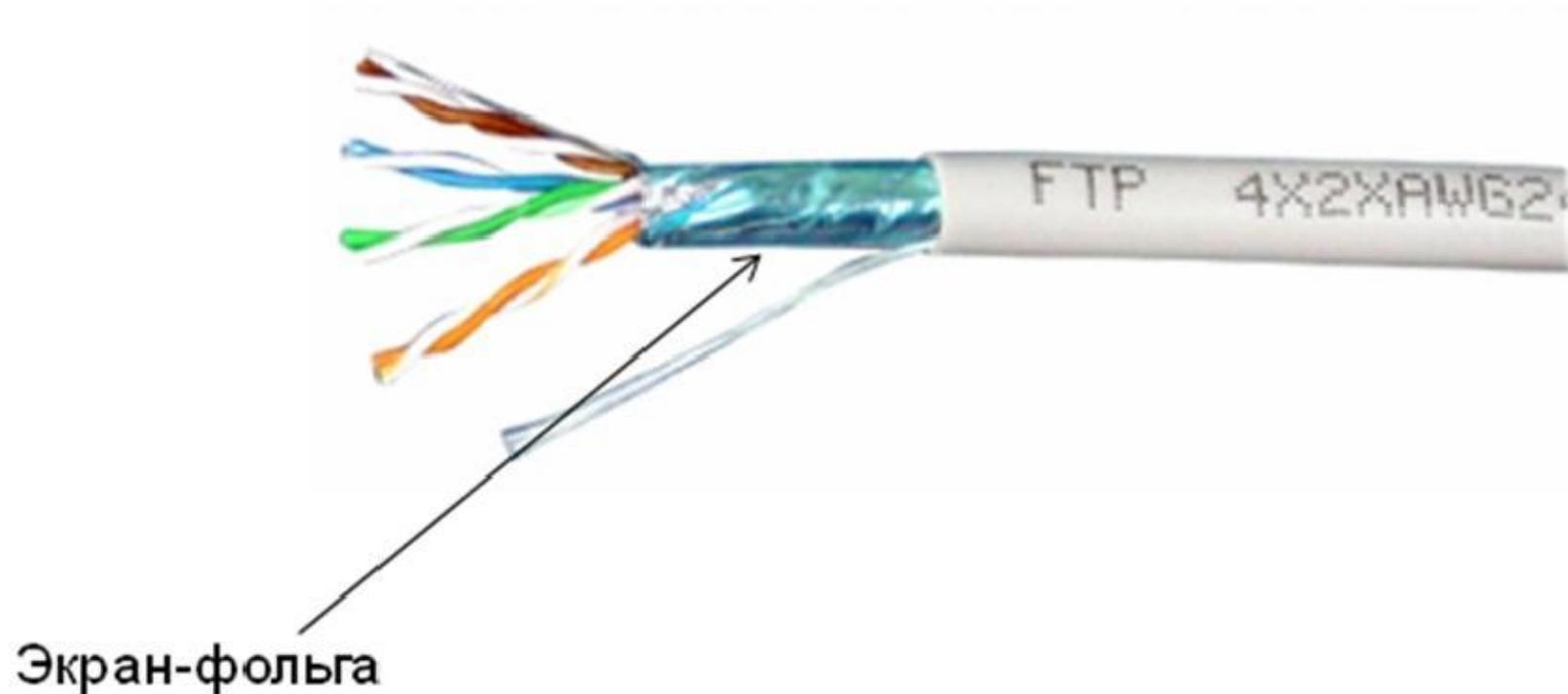


Экранированные кабели имеют дополнительную защиту.

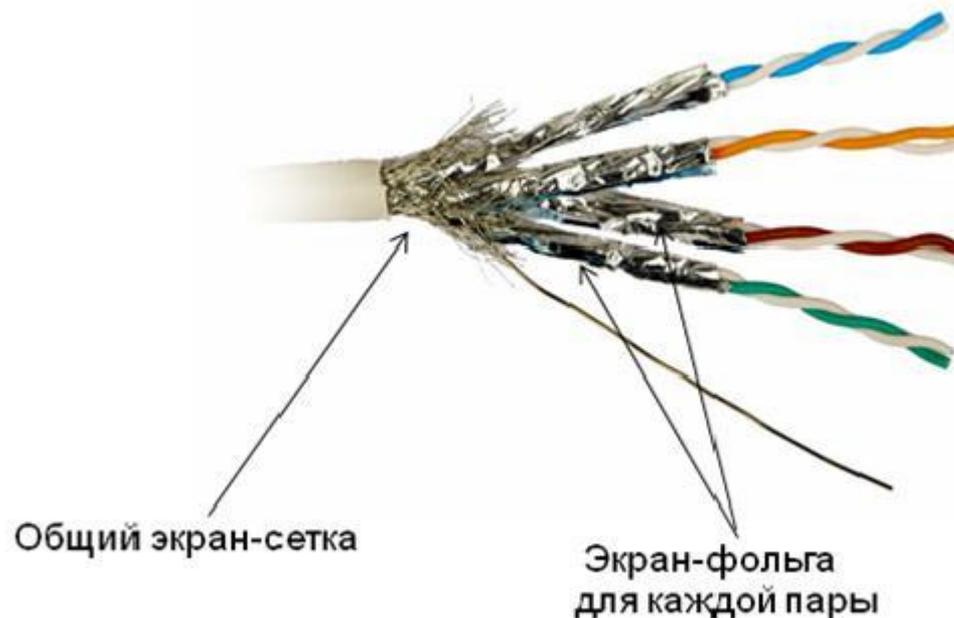
- ❑ **Разновидности кабелей на основе экранированной витой пары:**
 - ❑ экранированная витая пара (STP, Shielded Twisted Pair);
 - ❑ защищенная витая пара (ScTP, Screened twisted pair);
 - ❑ защищенная экранированная витая пара (SSTP, Screened Shielded Twisted Pair).
- ❑ В **экранированных кабелях STP** (U/FTP (Unshielded/Foiled Twisted Pair) в терминологии ISO/IEC 11801) каждая пара скрученных медных проводов для уменьшения помех и взаимных наводок покрыта дополнительным защитным экраном из фольги.



- ❑ В **защищенной витой паре** вокруг всех неэкранированных пар имеется один общий внешний экран.
- ❑ **Существует несколько разновидностей этого кабеля:**
 - ❑ кабель F/UTP – экран сделан из фольги;
 - ❑ кабель S/UTP – экран сделан в виде проволочной оплетки;
 - ❑ кабель SF/UTP – два внешних экрана из фольги и медной оплетки.



- ❑ **Защищенная экранированная витая пара** наилучшим образом защищает от электромагнитной интерференции и перекрестных наводок, т. к. является полностью экранированной.
- ❑ Имеется как отдельный экран вокруг каждой пары проводов, так и общий вокруг всех пар.
- ❑ **Существует две разновидности этого кабеля:**
 - ❑ кабель F/FTP – экраны вокруг пар и общий экран сделаны из фольги;
 - ❑ кабель S/FTP – экраны вокруг пар сделаны из фольги, общий экран – медная оплетка.



Категории кабелей на основе витой пары

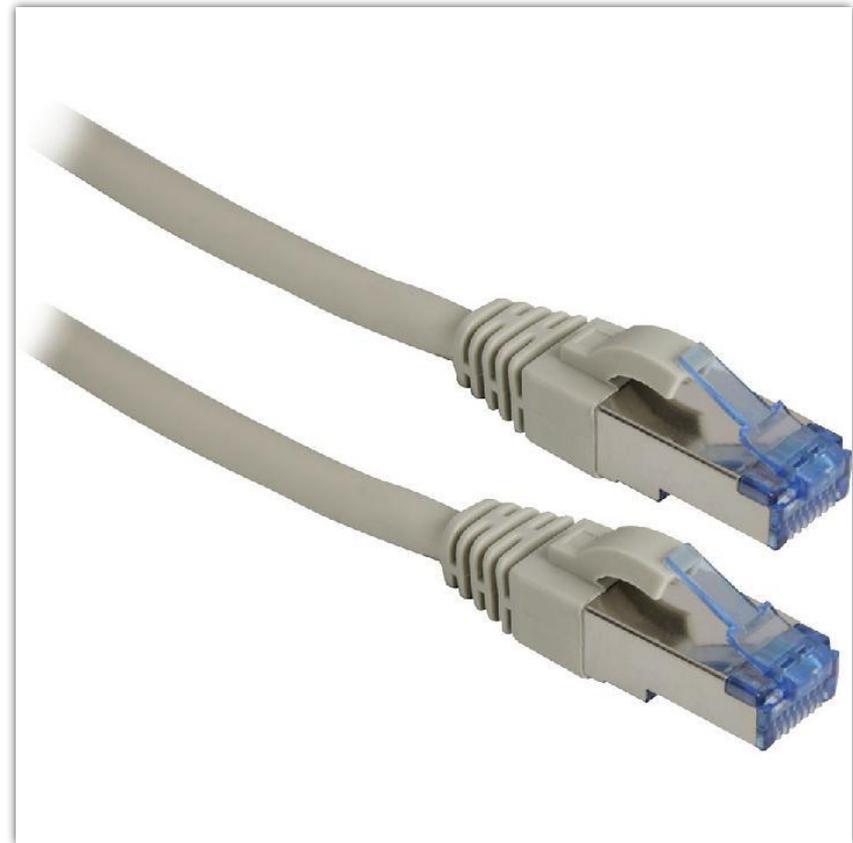
| Название EIA/TIA-568 | Название ISO/IEC 11801 | Полоса частот (МГц) | Приложения | Дополнения и комментарии |
|-----------------------|------------------------|---------------------|--|---|
| - | Class A | до 100 КГц | xDSL | Телефонный кабель. Используется только для передачи голоса или данных при помощи аналогового или ADSL-модема. |
| - | Class B | до 1 МГц | ISDN, 1BASE5 | Сейчас не используется |
| Category 3 (Cat. 3) | Class C | до 16 МГц | Token Ring 10BASE-T | 2-х парный кабель UTP. Основное применение - передача голоса |
| Category 4 (Cat. 4) | | до 20 МГц | Token Ring 10BASE-T 100BASE-T | 4-х парный кабель UTP. В дальнейшем не рассматривается. |
| Category 5 (Cat. 5) | Class D | до 100 МГц | 10BASE-T 100BASE-TX (2 пары) 1000BASE-T (4 пары) | 4-х парный кабель UTP. В дальнейшем не рассматривается |
| Category 5e (Cat. 5e) | | до 125 МГц | 10BASE-T, 100BASE-TX (2 пары), 1000BASE-T (4 пары) | 4-х парный кабель UTP. Наиболее распространен в современных сетях. |
| Category 6 (Cat. 6) | Class E | до 250 МГц | 1000BASE-T 10GBASE-T | 4-х парный кабель UTP. Ограничивает максимальное расстояние передачи для 10GBASE-T до 55 м. |
| Category 6a (Cat. 6a) | Class Ea | до 500 МГц | 1000BASE-T 10GBASE-T | 4-х парный кабель U/FTP, F/UTP. |
| Category 7 (Cat. 7) | Class F | до 600 МГц | 1000BASE-T 10GBASE-T | 4-х парный кабель F/FTP, S/FTP. |
| Category 7 (Cat. 7a) | Class Fa | до 1000 МГц | 1000BASE-T 10GBASE-T | 4-х парный кабель F/FTP, S/FTP. |

Обжим неэкранированной и экранированной витой пары

- Для подключения кабеля на основе витой пары к сетевым устройствам используется разъем 8P8C (8 Position 8 Contact). Данный разъем также называют RJ-45.



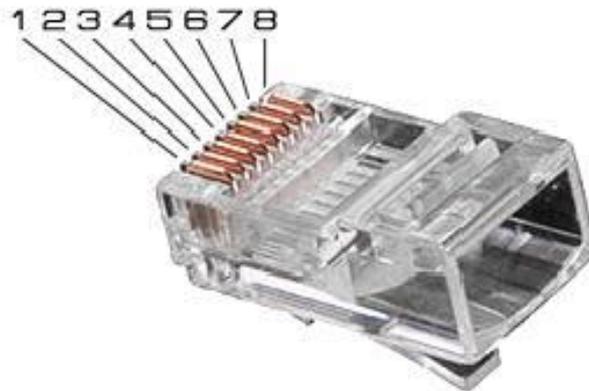
**Кабель UTP Cat. 5e
с разъемами 8P8C (RJ-45)**



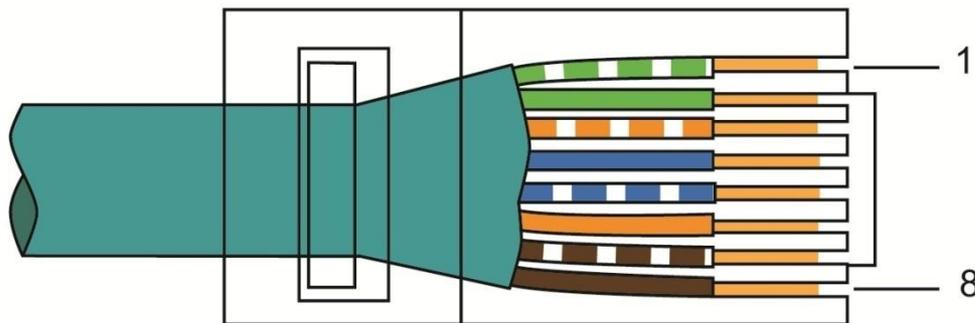
**Кабель F/UTP Cat. 6a
с разъемами 8P8C (RJ-45)**

Обжим неэкранированной и экранированной витой пары

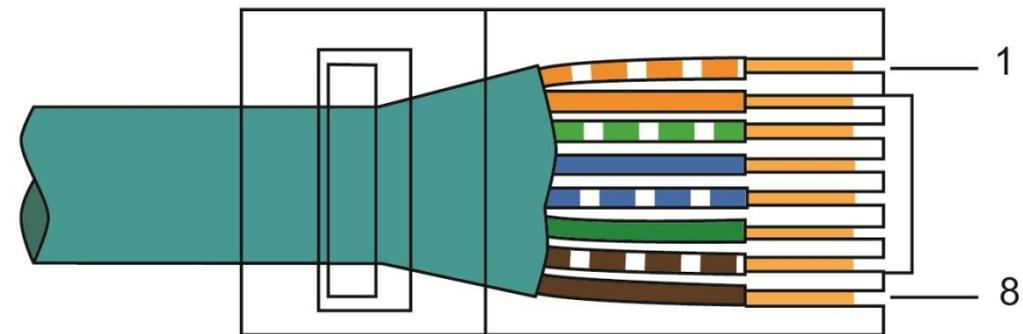
- ❑ Нумерация контактов разъема задается слева направо со стороны самих контактов.



- ❑ Последовательность расположения пар проводников в разъеме определяется стандартами EIA/TIA-568A и EIA/TIA-568B.



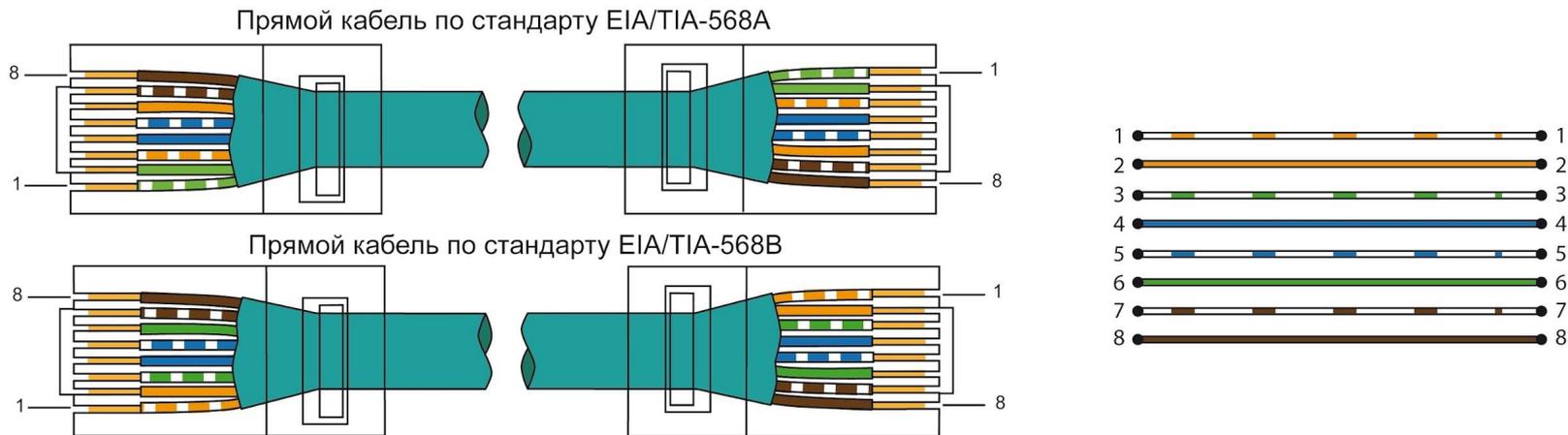
EIA/TIA-568A



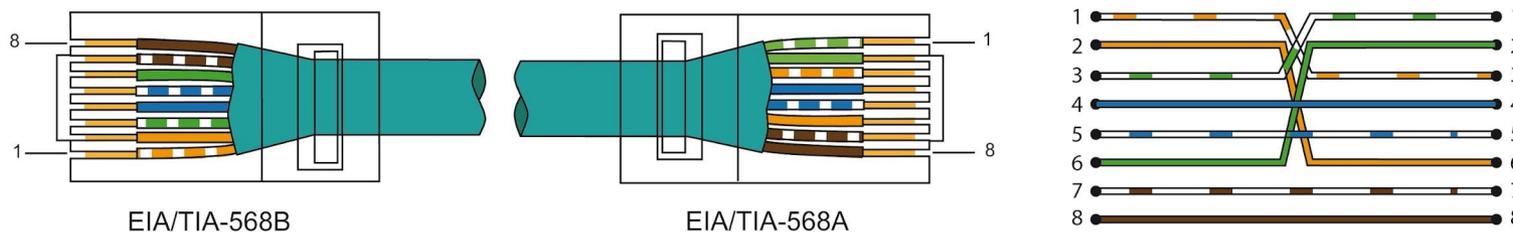
EIA/TIA-568B

Понятия «прямой» и «перекрестный» кабель

- В зависимости от схемы расположения проводников в разъемах с двух сторон кабеля, кабели на основе витой пары делятся на:
 - **Прямые** (straight through cable) – витая пара с обеих сторон обжата одинаково, без перекрещивания пар внутри кабеля.



- **Перекрестные** (crossover cable) – инвертированная разводка контактов с перекрещиванием пар внутри кабеля.



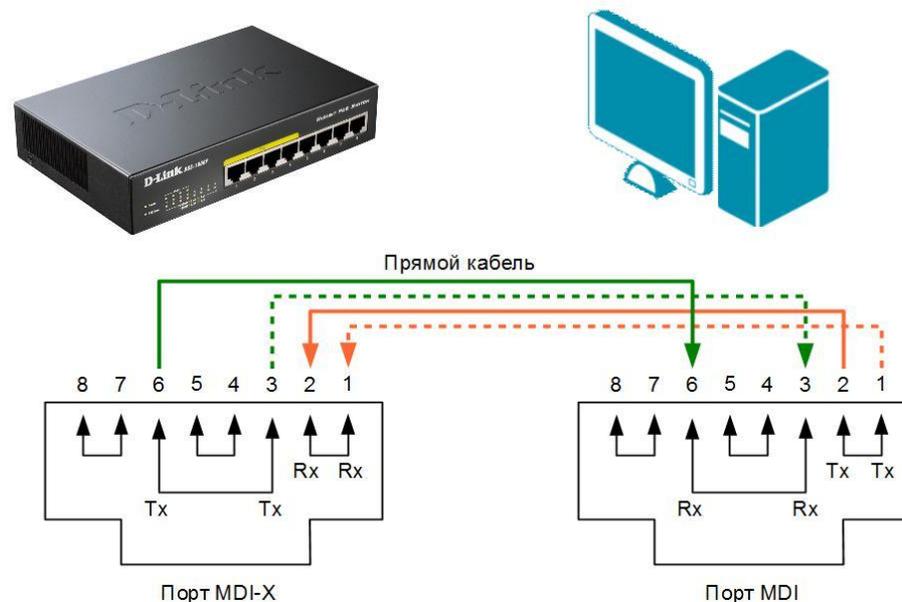
Порты MDI и MDIX

Существует три типа портов Ethernet с разъемом 8P8C (RJ-45):

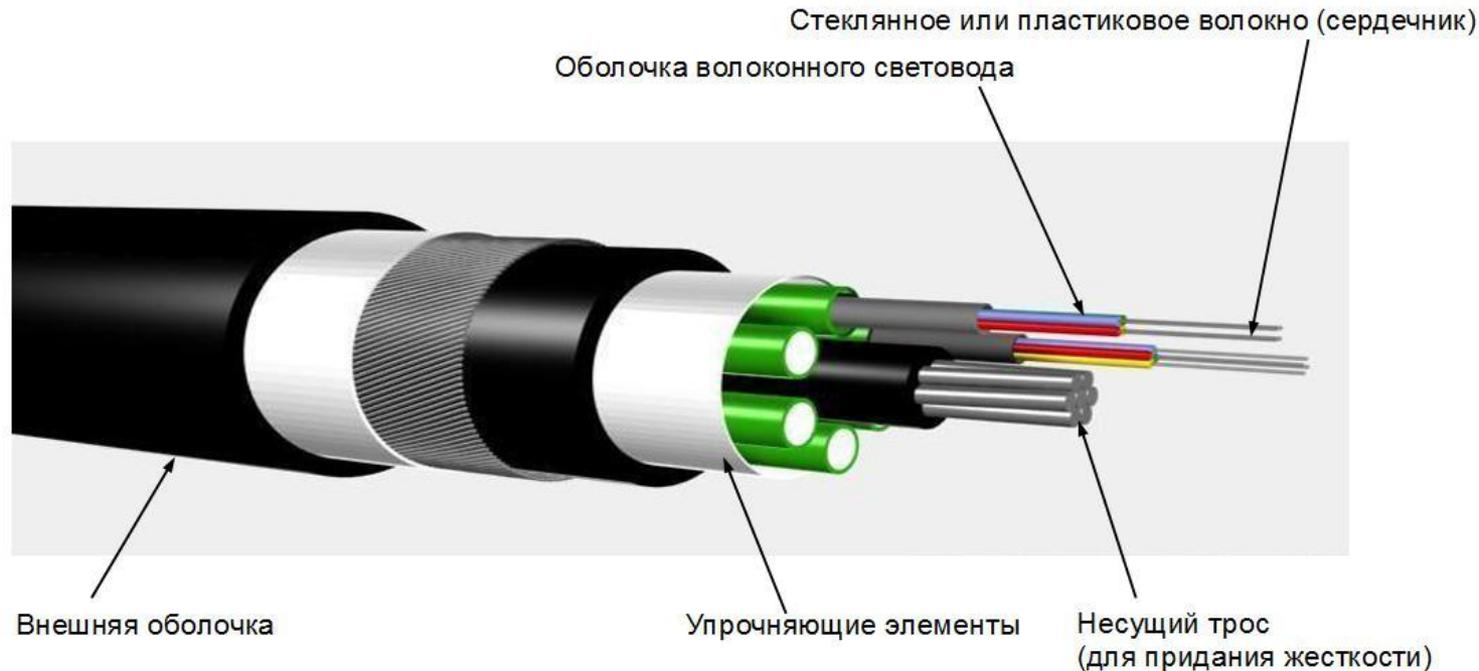
- ❑ **MDI** (Medium Dependent Interface) – зависимый от физической среды интерфейс;
 - ✓ контакты 1 и 2 используются для передачи (Tx) данных, 3 и 6 - для приема (Rx);
 - ✓ Ethernet-порт абонентского устройства (например, сетевой карты ПК).

- ❑ **MDI-X** (Medium Dependent Interface crossover) – зависимый от физической среды интерфейс, с перекрещиванием;
 - ✓ контакты 1 и 2 используются для приема (Rx) данных, 3 и 6 - для передачи (Tx);
 - ✓ Ethernet-порт коммутатора, концентратора, маршрутизатора.

- ❑ **Auto MDI/MDI-X** – интерфейс с автоматическим определением конфигурации MDI или MDI-X.



- ❑ **Волоконно-оптический кабель** – это среда передачи, состоящая из оптических волокон, заключенных в защитную внешнюю оболочку.



❑ **Достоинства:**

- ❑ высокая пропускная способность;
- ❑ высокая помехозащищенность;
- ❑ хорошая защита от несанкционированного доступа;
- ❑ отсутствие необходимости заземления;
- ❑ большая дальность передачи данных.

❑ **Недостатки:**

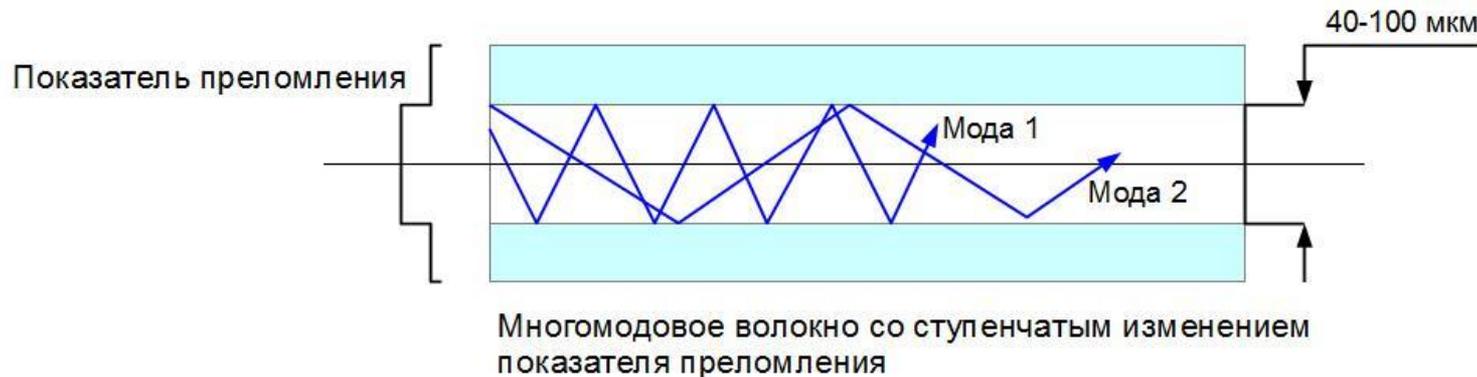
- ❑ сложность монтажа;
- ❑ высокая стоимость оптических сетевых устройств.

Оптические волокна делятся на две основные группы:

- многомодовые (Multi-Mode optical Fiber, MMF);
- одномодовые (Single-Mode optical Fiber, SMF).

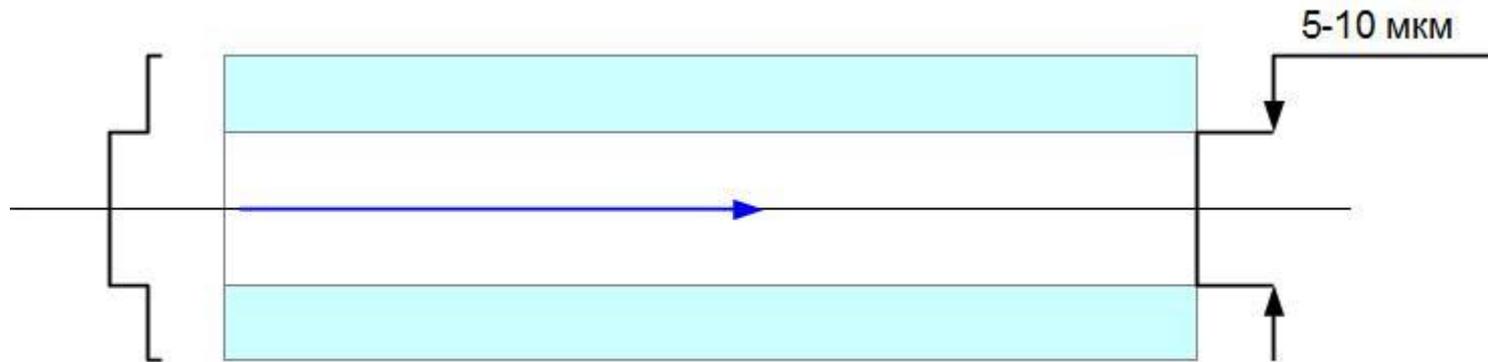
❑ Многомодовые волокна изготавливают двух видов:

- ❑ со ступенчатым изменением показателя преломления;
- ❑ с плавным изменением показателя преломления.



- ❑ В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых волокна: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 и 50 мкм – это диаметр сердечника, а 125 мкм – диаметр оболочки.
- ❑ В качестве источников излучения света применяются светодиоды с длиной волны 850 нм и 1310 нм.
- ❑ Максимальная длина многомодового волокна – 2 км.
- ❑ Применяется в локальных сетях небольшой протяженности.

Одномодовое волокно



Одномодовое волокно

- Имеет очень маленький диаметр сердечника (5-10 мкм, диаметр оболочки – 125 мкм).
- Пропускная способность – превышает 10 Гбит/с.
- В качестве источников излучения света применяются лазеры с длиной волны 1310 нм и 1550 нм.
- Максимальное расстояние передачи – 100 км.
- Применяются на протяженных линиях связи, в городских и региональных сетях.

- ❑ **Классификацию оптических кабелей можно выполнять по:**
 - ❑ назначению;
 - ❑ условиям применения;
 - ❑ способу прокладки;
 - ❑ конструктивным и технологическим особенностям;
 - ❑ числу оптических волокон и электрических жил.
- ❑ **Волоконно-оптические кабели подразделяются по назначению на:**
 - ❑ магистральные (международные, междугородные);
 - ❑ внутризоновые (соединительные, междугородные);
 - ❑ местные (соединительные, распределительные, абонентские);
 - ❑ внутриобъектовые (станционные, абонентские).
- ❑ **Согласно классификации Международного союза электросвязи (ITU-T), оптические кабели можно разделить на кабели для внешней и внутренней прокладки следующим образом:**
 - ❑ внешние кабели междугородные, межстанционные соединительные и распределительные (воздушный, проложенный в грунте, проложенный в канализации, проложенный в туннеле, подводный);
 - ❑ внутренние кабели у абонента и на станции (внутри здания).

- **Для внешних кабелей необходимо учитывать воздействие следующих факторов:**
 - *температуры* (усадка оболочки с вытягиванием сердечника, увеличение затухания под воздействием перепадов температуры, хрупкость, ломкость оболочки под воздействием низкой температуры);
 - *соленой воды* (коррозия несущего троса или брони); дождя или горячего источника (коррозия несущего кабеля и внешней оболочки); постоянного тока (электролитическая коррозия);
 - *огня* (пожароопасность);
 - *ветра, снега и льда* (повреждение под давлением и раскачиванием ветра, под тяжестью снега и льда);
 - возможность повреждения внешней оболочки кабеля грызунами, птицами и насекомыми.

- Для кабелей внутренней прокладки наиболее важным фактором при выборе является его гибкость при прокладке по различным конструкциям здания и пожаробезопасность.

Классы многомодовых волокон ISO/IEC 11801

| Категория | Диаметр сердечника, мкм | Минимальная модальная полоса пропускания, МГц*км | | |
|-----------|-------------------------|--|---------|----------------------|
| | | Насыщенное возбуждение | | Лазерное возбуждение |
| | | 850 нм | 1310 нм | 850 нм |
| OM1 | 50 или 62,5 | 200 | 500 | н/о |
| OM2 | 50 или 62,5 | 200 | 500 | н/о |
| OM3 | 50 | 1500 | 500 | 2000 |
| OM4 | 50 | 3500 | 500 | 4700 |

Классы одномодовых волокон ISO/IEC 11801

| Длина волны, нм | Минимальная затухание, дБ/км | |
|-----------------|------------------------------|-----|
| | OS1 | OS2 |
| 1310 | 1,0 | 0,4 |
| 1550 | 1,0 | 0,4 |

Классы каналов ISO/IEC 11801

| Класс канала | Затухание канала, дБ | | | |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|
| | MMF | | SMF | |
| | 850 нм | 1310 нм | 1310 нм | 1550 нм |
| OF-300 | 2,55 | 1,95 | 1,80 | 1,80 |
| OF-500 | 3,25 | 2,25 | 2,00 | 2,00 |
| OF-2000 | 8,50 | 4,50 | 3,50 | 3,50 |

Разъемы для волоконной оптики – SC, LC, ST, FC и MT-RJ.

Разъем
ST



Разъем типа ST использует быстро сочленяемое байонетное соединение, которое требует поворота разъема на четверть оборота для осуществления соединения/разъединения. Применяется как для одномодового, так и для многомодового кабеля. Самый дешевый разъем

Разъем
FC



Разъемы типа FC аналогичны ST, но с резьбовой фиксацией. Ориентированы на применение с одномодовым кабелем, но могут быть использованы и для многомодового кабеля.

Разъем
SC



Разъем типа SC широко используется как для одномодового, так и для многомодового волокна. Относится к классу разъемов общего пользования. В разъеме используется механизм сочленения «push-pull», при котором соединитель защелкивается. Может объединяться в модуль, состоящий из нескольких разъемов. В этом случае модуль может использоваться для дуплексного соединения (одно волокно которого используется для передачи в прямом, а другое в обратном направлениях).

Разъем LC



Разъем типа LC миниатюрный вариант SC. Он обеспечивает еще большую плотность монтажа. Помещен в прочный термостойкий пластмассовый корпус типа с механизмом «push-pull». Может использоваться для дуплексного соединения.

Разъем
MT-RJ



Разъем типа MT-RJ представляет собой миниатюрный дуплексный разъем.

- ❑ **Кабельная система** представляет собой совокупность кабелей различных типов (оптических, на основе витой пары), кроссовых кабелей (патч-кордов), разъемов для кабелей, соединительных розеток, коммутационных или кроссовых панелей (патч-панелей), монтажных шкафов и телекоммуникационных стоек, предназначенных для подключения к компьютерной сети различных сетевых устройств.



Патч-панель



Телекоммуникационная стойка

- Оборудование, используемое для организации компьютерной сети, можно разделить на два вида: *пассивное* и *активное*.



- ❑ **Структурированной кабельной системой (СКС)** называется кабельная система здания или группы зданий отвечающая требованиям стандартов. СКС определяют международные, европейские и национальные стандарты.

- ❑ **В настоящее время действуют три основных стандарта:**
 - ❑ TIA/EIA-568C Commercial Building Telecommunications Wiring Standard (американский стандарт);
 - ❑ ISO/IEC 11801-2002 Information Technology. Generic cabling for customer premises (международный стандарт);
 - ❑ CENELEC EN50173 Information Technology. Generic cabling systems (европейский стандарт).

- ❑ В Российской Федерации введены в действие стандарты ГОСТ Р 53246-2008 и ГОСТ Р 53245-2008, которые основаны на международном стандарте ISO/IEC 11801.

❑ **Все стандарты определяют:**

- ❑ структуру СКС;
- ❑ рабочие параметры функциональных компонентов;
- ❑ принципы проектирования;
- ❑ правила монтажа;
- ❑ методику измерения;
- ❑ правила администрирования;
- ❑ требования телекоммуникационного заземления.

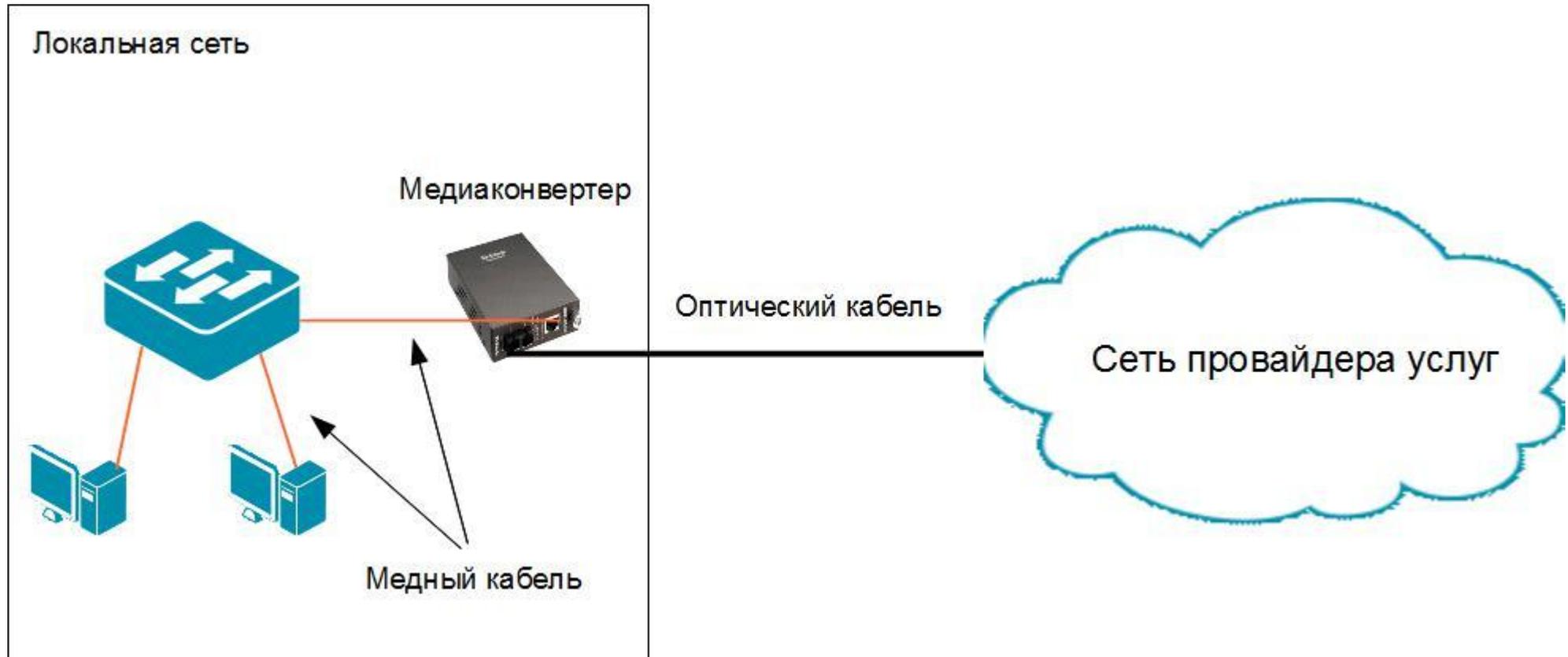
- ❑ Стандарты отличаются терминологией, перечнем функциональных компонентов СКС и количеством подсистем СКС.

- **Для диагностики СКС используется специальное оборудование:**
 - **сетевые анализаторы** (не следует путать с анализаторами протоколов) – это эталонные измерительные устройства для диагностики и сертификации кабелей и кабельных систем в лабораторных условиях специально обученным персоналом;
 - **кабельные сканеры** – это портативные устройства для сертификации кабельных систем, позволяющие определять длину кабеля, электромагнитные характеристики (NEXT, затухание, импеданс), схемы разводки кабеля, уровень электромагнитных полей, отношение сигнал/шум;
 - **кабельные тестеры** – это портативные устройства, которые позволяют проводить диагностику кабельных систем на правильность их монтажа и обнаруживать неисправности в кабеле.

- ❑ **Медиаконвертер** (Mediaconverter) или **преобразователь среды передачи** — это устройство, преобразующее среду распространения сигнала из одного типа в другой.



Использование медиаконвертера в сети



Стандарты кабелей

- Для подключения к медному кабелю медиаконвертеры оборудованы интерфейсом RJ-45. Для подключения к оптическому кабелю используется, как правило, интерфейс SC.
- Для большей гибкости в выборе типа оптического подключения вместо оптического интерфейса медиаконвертер может быть оборудован слотом для установки сменных интерфейсным модулей, как правило, SFP.
- Медиаконвертеры, производимые D-Link, могут работать как автономные устройства (помещены в собственный корпус и оснащены блоком питания), так и в составе шасси.



**Медиаконвертер
с оптическим интерфейсом SC**



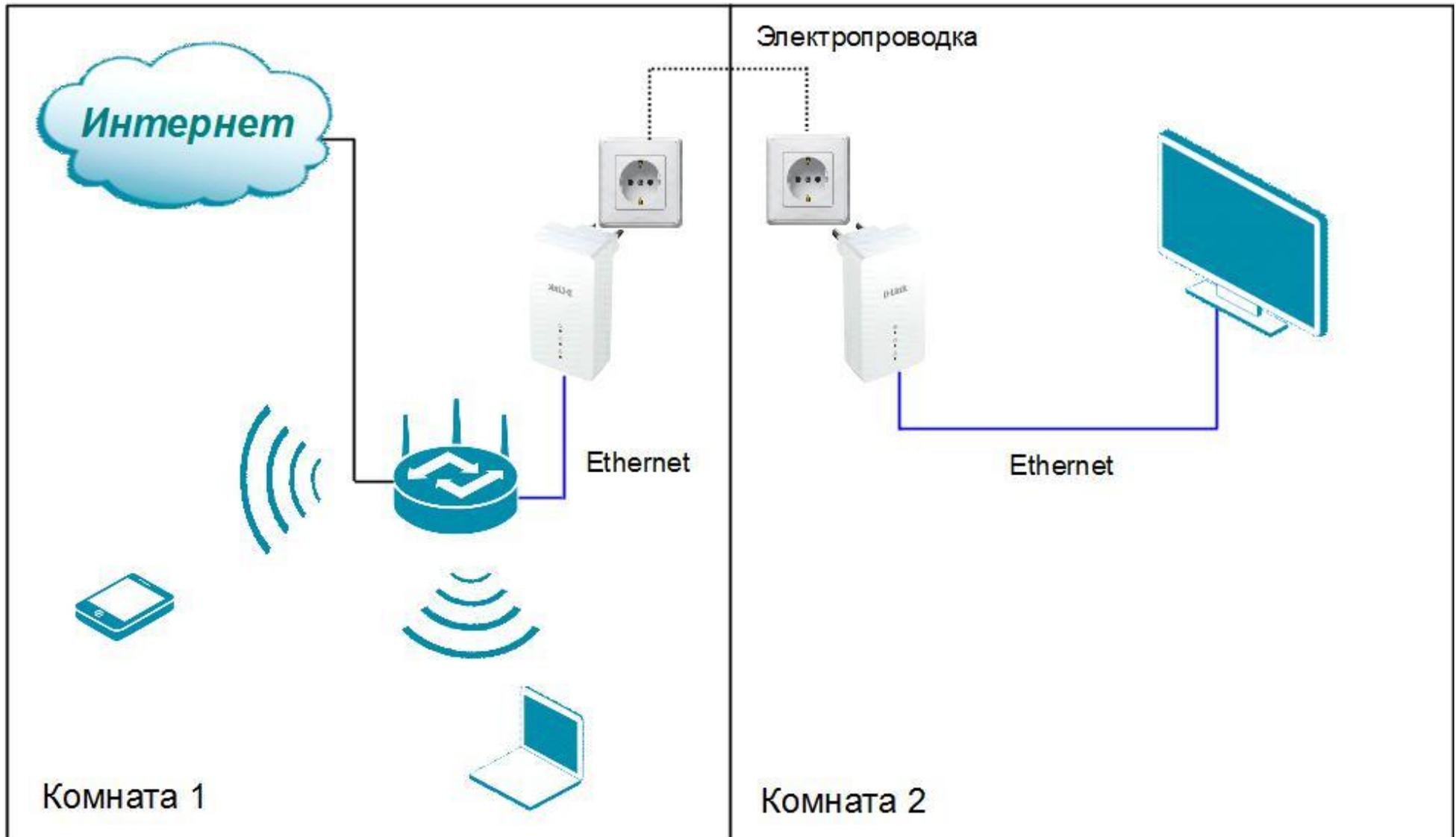
**Медиаконвертер
со слотом SFP**



Шасси для медиаконвертеров

Электрическая проводка

Локальную сеть можно построить, используя обычные электрические провода 220 В, т.е. домашнюю электропроводку и передавать по ней голос или данные.



❑ Достоинства:

- ❑ простота установки и настройки PLC-оборудования;
- ❑ для обеспечения защиты от несанкционированного доступа используется 128-битное шифрование AES.

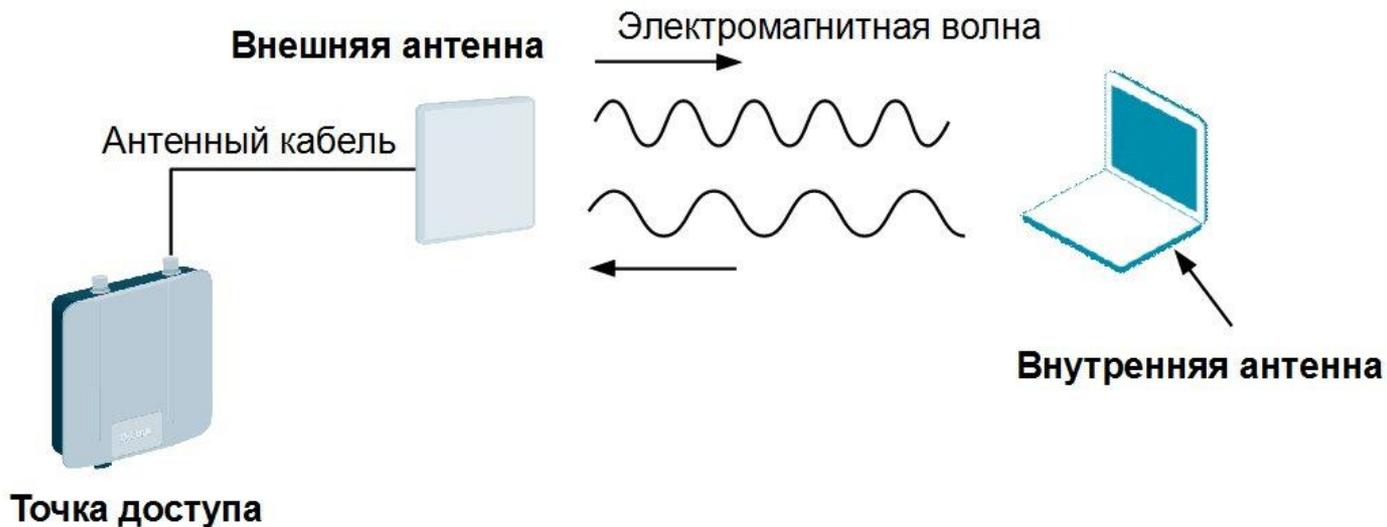
❑ Недостатки:

- ❑ скорость передачи данных зависит от качества проводки, работы других электрических приборов, количества PowerLine-адаптеров в сети, характера и объема трафика.



Беспроводная среда передачи

- Для построения беспроводной линии связи каждый узел оснащается антенной. Антенну можно определить как проводник (или систему проводников), используемый для излучения и улавливания электромагнитных волн из пространства.



- **Антенны в общем случае можно классифицировать как:**
 - **всенаправленные** (omni-directional). Передаваемый сигнал распространяется во всех направлениях и может быть принят множеством антенн;
 - **направленные** (directional). Передающая антенна излучает сфокусированный электромагнитный луч, поэтому передающая и принимающая антенны должны быть тщательно нацелены.

Беспроводная среда передачи

- ❑ **Коэффициент усиления** (antenna gain) G является мерой *направленности* антенны.

$$G = P1 / P2,$$

где $P1$ - мощность сигнала, излученного в определенном направлении, $P2$ - мощность сигнала, излучаемого идеальной (изотропной) антенной в любом направлении.

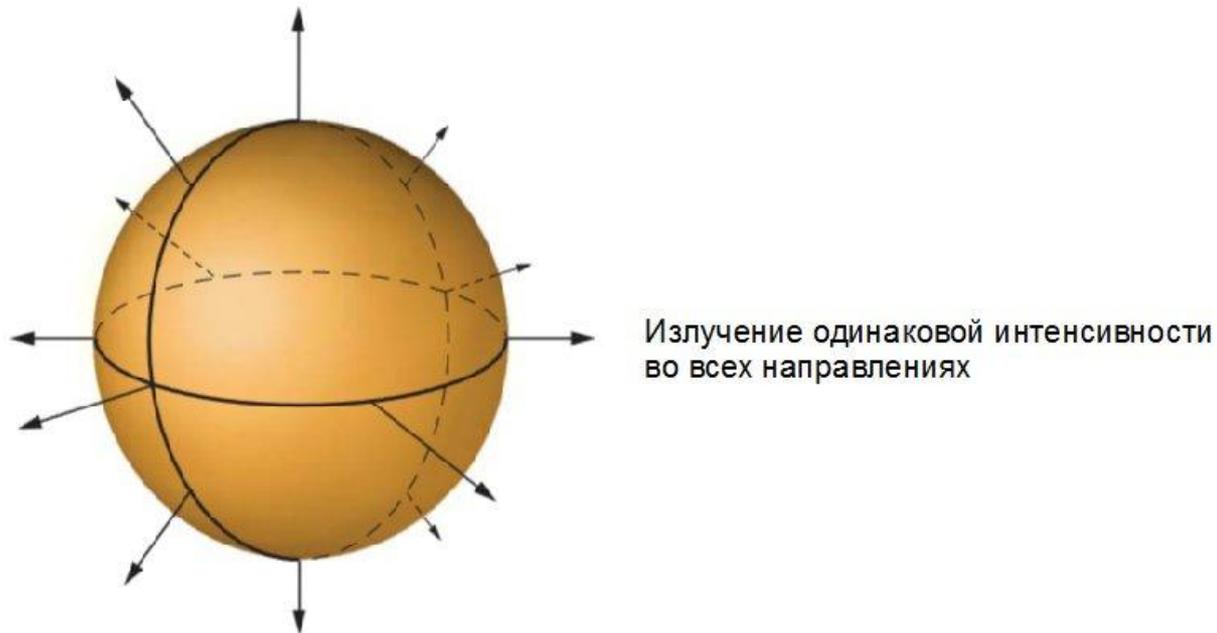
- ❑ На практике коэффициент усиления выражают через логарифмическое отношение мощностей, напряжений или токов в децибелах (dB):

$$G = 10 \lg P1 / P2$$

- ❑ В технических описаниях антенн единицы измерения коэффициента усиления антенн выражаются в изотропных децибелах – dBi, т.е в тех же децибелах, но с третьей буквой «i», обозначающей слово «isotropic» (изотропный). Это связано с тем, что излучение антенны в определенном направлении сравнивается с изотропной антенной.

Беспроводная среда передачи

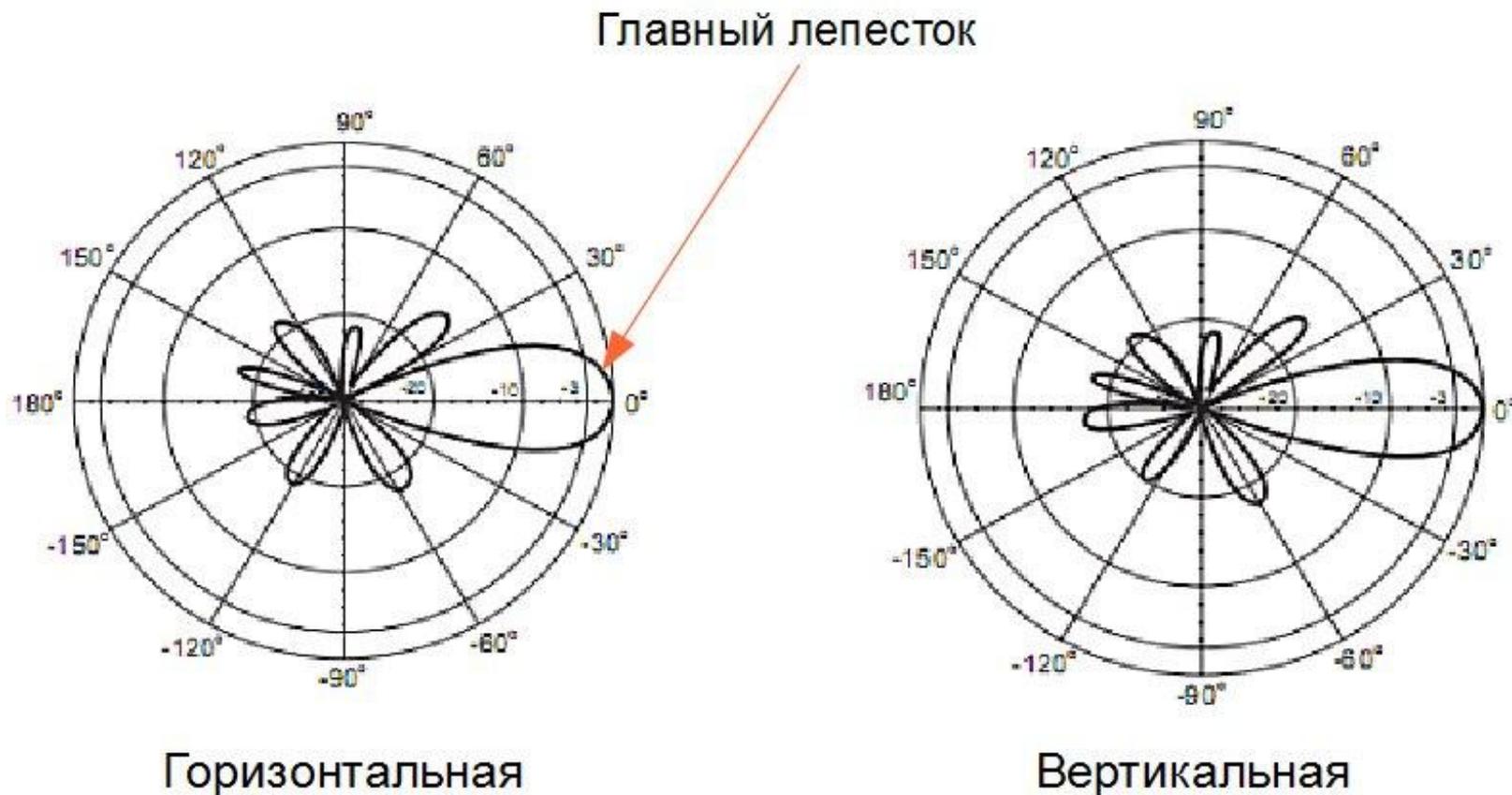
- ❑ **Изотропная антенна** – это идеальная (теоретическая) антенна, излучающая электромагнитную энергию одинаковой интенсивности во все направления. Изотропную антенну можно сравнить с Солнцем.



- ❑ Коэффициент усиления антенны показывает *фокусировку мощности* в определенном направлении, а не усиление ее.

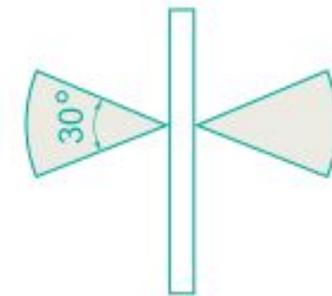
Беспроводная среда передачи

- Графическим представлением зависимости коэффициента усиления от направления антенны в заданной плоскости является **диаграмма направленности**.

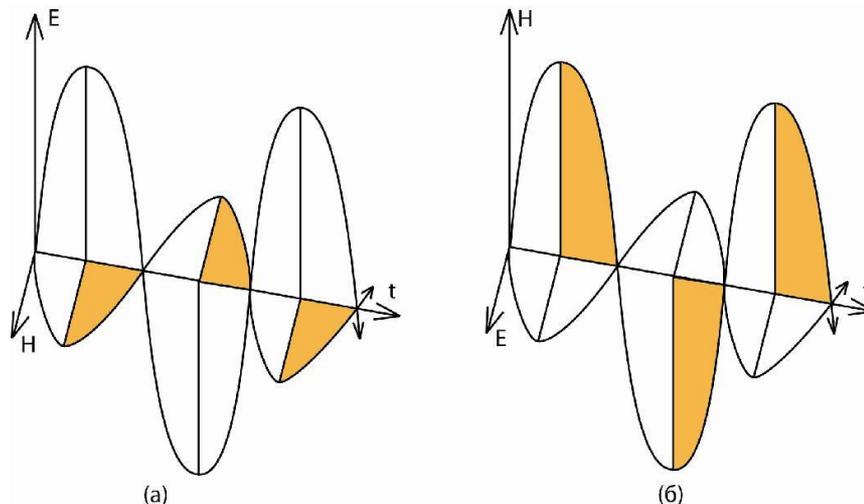


Беспроводная среда передачи

- ❑ Диаграмма направленности является удобным средством определения такой меры направленности антенны, как **ширина луча**.
- ❑ Ширина луча – это угол, в пределах которого излучаемая мощность составляет не менее половины мощности, которая излучается в преимущественном направлении.
- ❑ Измеряется в градусах.



- ❑ **Поляризация** – это физическая ориентация элемента антенны, который непосредственно излучает энергию в радиочастотном диапазоне. Существуют антенны с вертикальной, горизонтальной и круговой (с правым и левым вращением) поляризациями



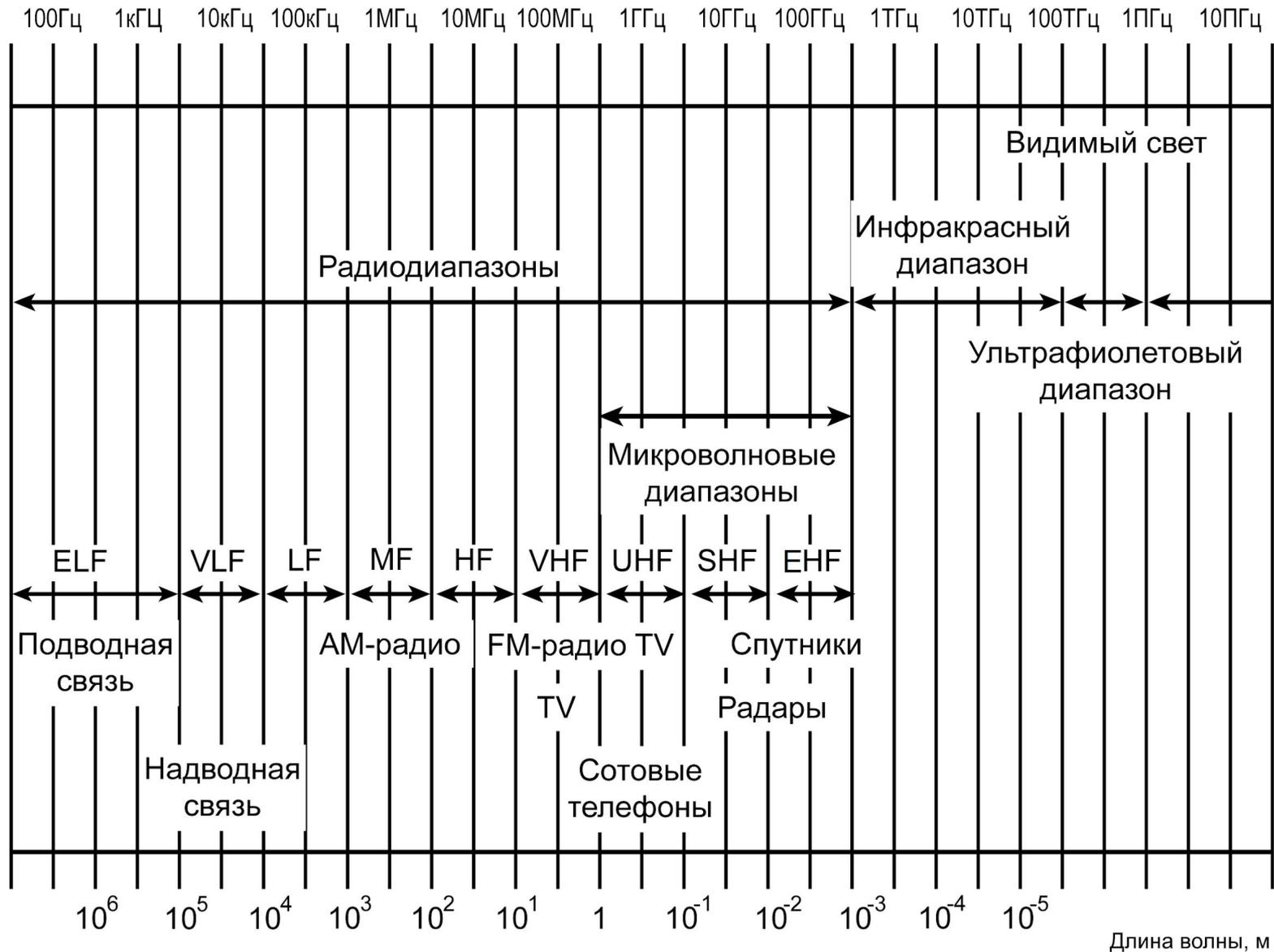
Беспроводная среда передачи

Способ распространения сигнала, расстояние его передачи и т.п. во многом зависят от диапазона частот используемого электромагнитного спектра.

□ Весь спектр электромагнитного излучения разделен на частотные диапазоны в зависимости от типа электромагнитных волн:

- радиоволны;
- инфракрасное излучение;
- видимый свет.
- ультрафиолетовое излучение,
- рентгеновское излучение;
- гамма-излучение.

Спектр электромагнитных волн



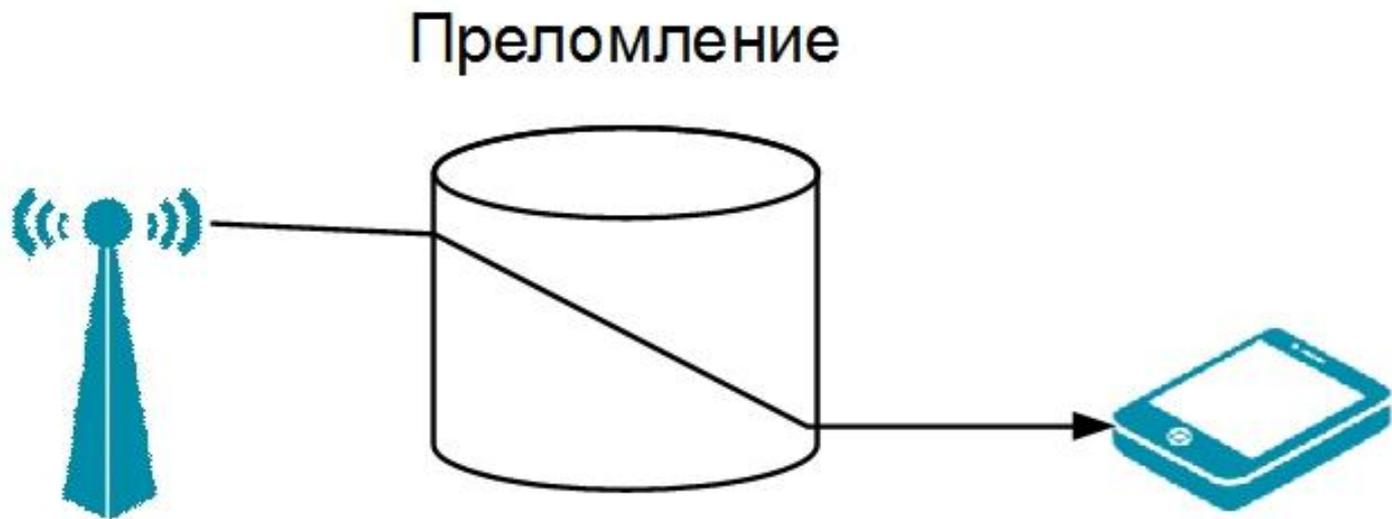
Беспроводная среда передачи

- При встрече на пути своего распространения препятствий, электромагнитные волны могут отражаться от них, преломляться, рассеиваться или огибать препятствия.
- **Отражение** имеет место, когда электромагнитная волна встречается с препятствием, размеры которого намного превышают длину волны. В этом случае часть энергии электромагнитной волны отражается от такого препятствия.



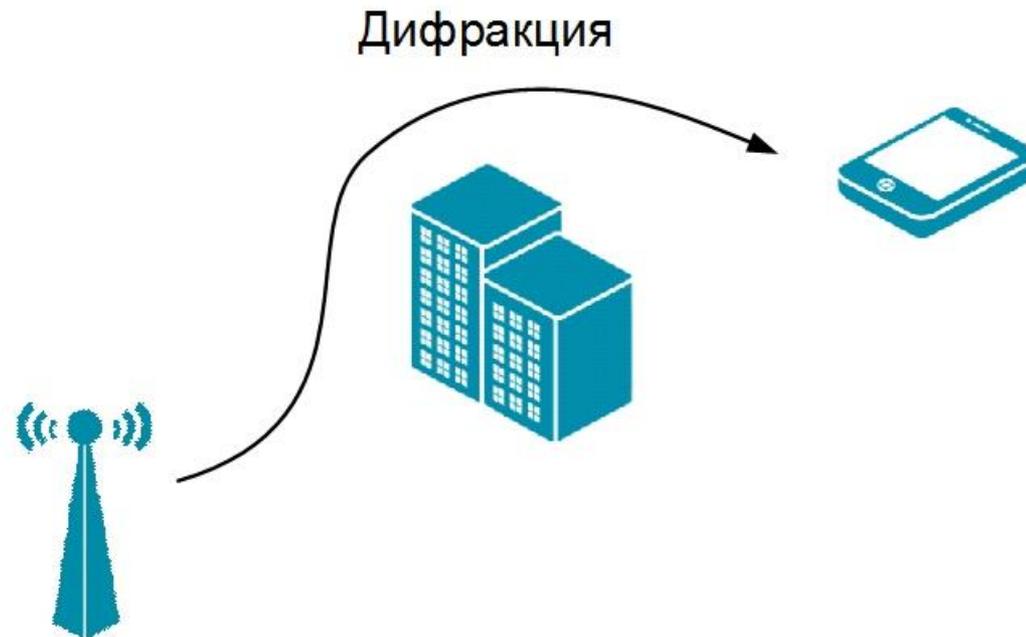
Преломление

- Попадая на границу раздела двух прозрачных для электромагнитной волны сред с разной плотностью, часть волны отражается, а часть проходит в другую среду, преломляясь.



Дифракция

- Если электромагнитная волна встречает непроницаемое для нее препятствие, размер которого сравним с ее длиной (дома, горы), происходит дифракция – сигнал как бы огибает препятствие. Так что такой сигнал можно получить, даже не находясь в зоне прямой видимости.



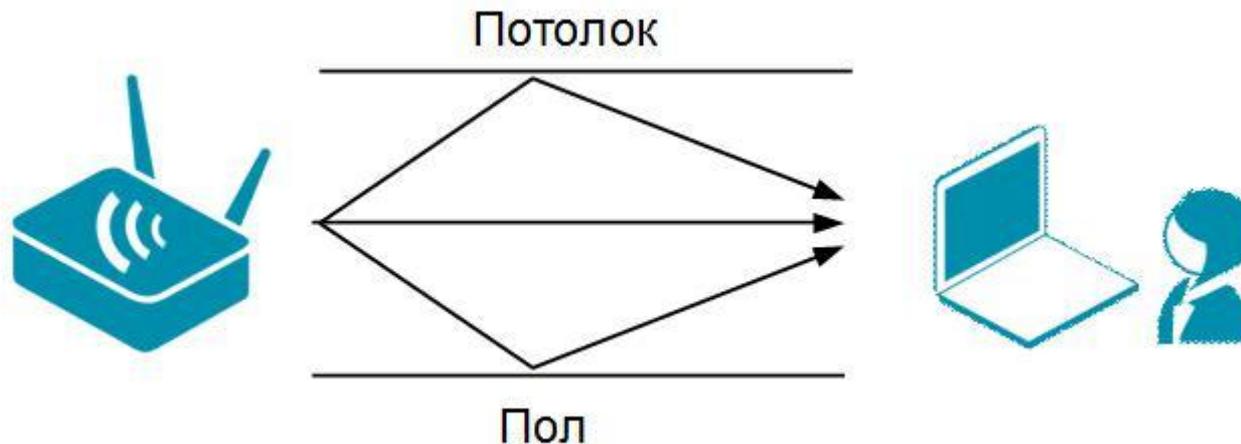
Рассеяние

- При встрече с препятствием, размеры которого много меньше длины волны (туман, листья деревьев, грязь), происходит рассеяние волн – отражение под разными углами.



Многолучевое распространение сигнала

- В результате отражения, дифракции и рассеяния приемник может получить исходный сигнал и его несколько отраженных копий, которые достигли его антенны разными путями и в разные промежутки времени. Это называется *многолучевым распространением сигнала (multipath)*.



- *Межсимвольная интерференция (InterSymbol Interference, ISI)* возникает в том случае, если задержка распространения между исходным и отраженными сигналами сравнима или больше длительности одного символа (бита).

- ❑ **К искажению передаваемого по беспроводному каналу связи сигнала приводит:**
 - ❑ затухание;
 - ❑ потери в свободном пространстве;
 - ❑ шум;
 - ❑ атмосферное поглощение.

- ❑ **Источниками шумов в беспроводных линиях связи могут служить:**
 - ❑ микроволновые печи;
 - ❑ беспроводные телефоны;
 - ❑ радиопередатчики;
 - ❑ датчики движения;
 - ❑ соседние беспроводные сети;
 - ❑ беспроводные камеры системы видеонаблюдения.

- ❑ Для борьбы с ошибками, которые появляются вследствие многолучевого распространения, широко используются методы **разнесения** (diversity).
- ❑ Разнесение основывается на том факте, что в отдельно взятом канале *замирание* сигнала (изменение мощности полученного сигнала во времени, вызванное изменением линии связи или среды распространения) происходит независимо от других.

- ❑ **Существует несколько типов разнесения, которые используются в беспроводных сетях:**
 - ❑ **Частотное разнесение** (Frequency diversity) – сигнал передается посредством нескольких несущих. Частотное разнесение может выполняться путем использования разных частотных каналов или технологий расширения спектра и OFDM.
 - ❑ **Временное разнесение** (Time diversity) – сигнал передается несколько раз в разные периоды времени. Для этого используются разные тайм-слоты и канальное кодирование.
 - ❑ **Пространственное разнесение** (Space diversity) – используется несколько антенн, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга для приема нескольких копий сигнала. Является основой технологии MIMO.

- ❑ **MIMO** (Multiple Input Multiple Output) – это радиоантенная технология, при которой приемник и передатчик используют множество антенн и обеспечивают множество путей передачи данных.
- ❑ MIMO применяется в современных сетях Wi-Fi стандартов IEEE 802.11n и 802.11ac, в сетях мобильной передачи данных 4-го поколения LTE, при организации широкополосного беспроводного доступа на большие расстояния с помощью технологии WiMAX (IEEE 802.16).
- ❑ Она позволяет не только бороться с негативными эффектами многолучевого распространения, но и использовать их преимущества для повышения пропускной способности каналов связи.

Спасибо за внимание!