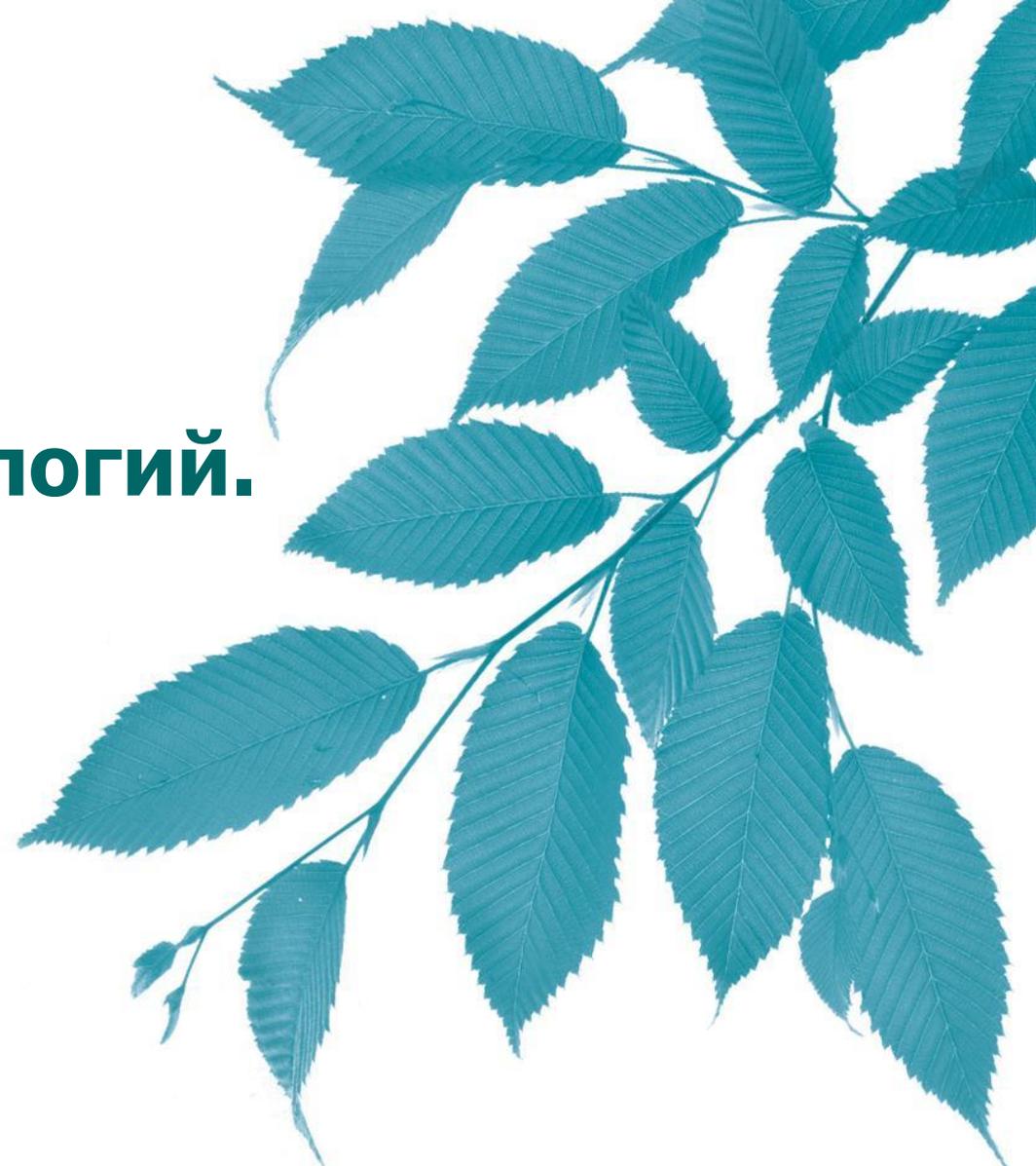




# Основы сетевых технологий. Часть 1: Передача и коммутация данных в компьютерных сетях

Сертификационный курс

Лекция 3



## Лекция 3

# **Физический уровень модели OSI**

## **Лекция 3. Физический уровень модели OSI**

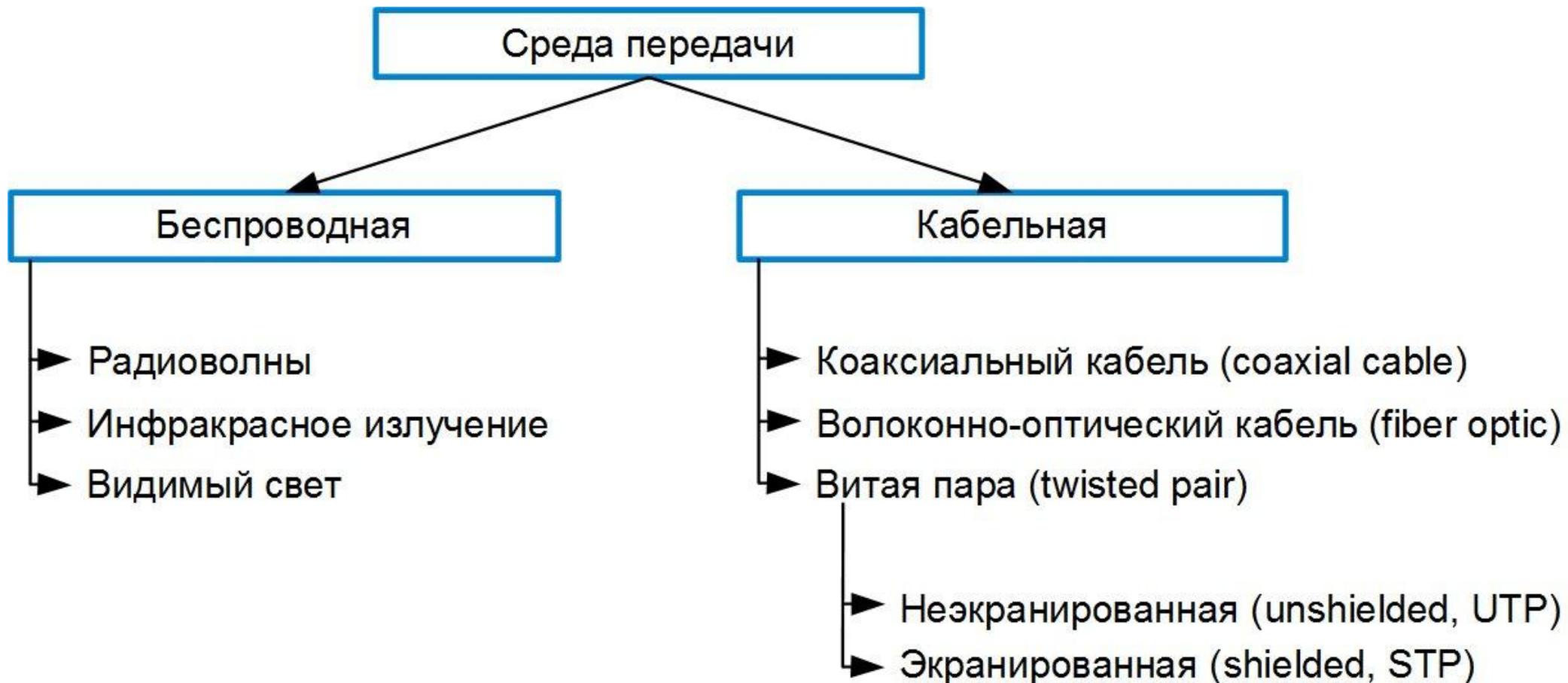
- ❑ Понятие линии и канала связи;
- ❑ Сигналы;
- ❑ Основные характеристики линии связи;
- ❑ Методы совместного использования среды передачи канала связи;
- ❑ Модуляция и кодирование сигналов;
- ❑ Стандарты кабелей;
- ❑ Электрическая проводка;
- ❑ Беспроводная среда передачи.

## 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.



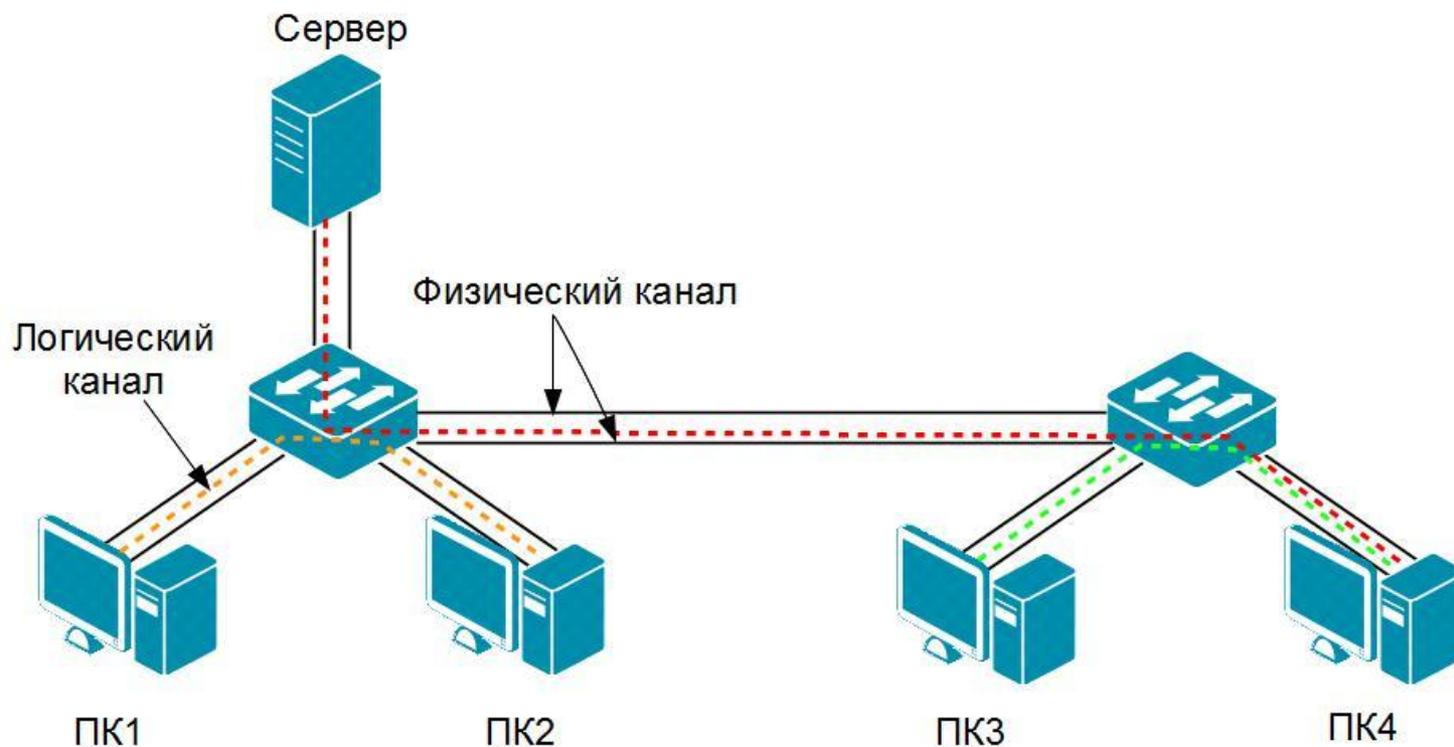
## Понятие линии связи и канала связи

- ❑ **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

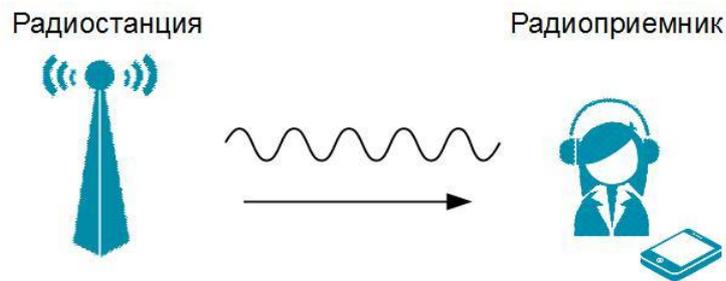
- **Каналы связи разделяют на:**
  - **физические** (physical link);
  - **логические** (logical link);
  
- **Физические каналы подразделяются на:**
  - **электрические** (витая пара, коаксиальный кабель);
  - **оптические** (волоконно-оптический кабель);
  - **беспроводные** (радиоканалы, инфракрасные каналы и т.д).



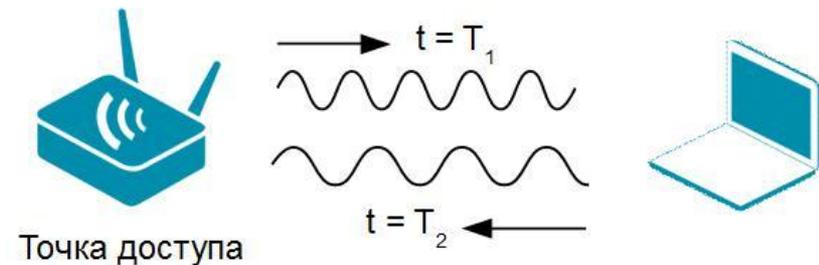
- **Каналы (линии) связи можно классифицировать на основе следующих признаков:**
  - по типу физической среды;
  - по типу представления передаваемой информации;
  - по направлению передачи данных;
  - по времени существования;
  - по способу подключения;
  - по ширине полосы пропускания.

## 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).



Симплексный канал



Полудуплексный канал

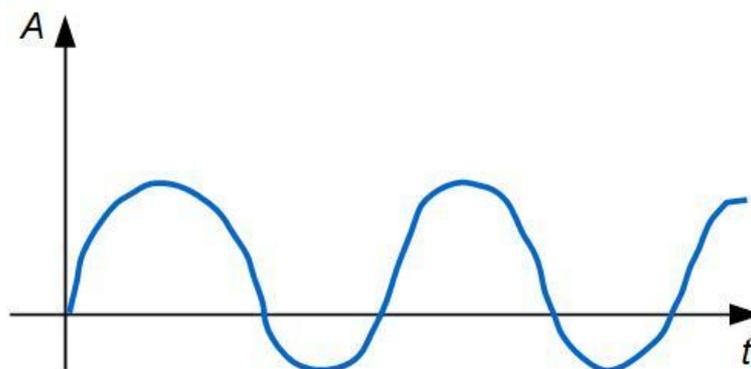


- **По времени доступности абонента каналы разделяют на:**
  - **выделенные** или **некоммутируемые** - доступны для передачи данных на длительное время за счет постоянно существующего соединения с заданными характеристиками;
  - **коммутируемые** или **временные** - передача данных возможна только после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

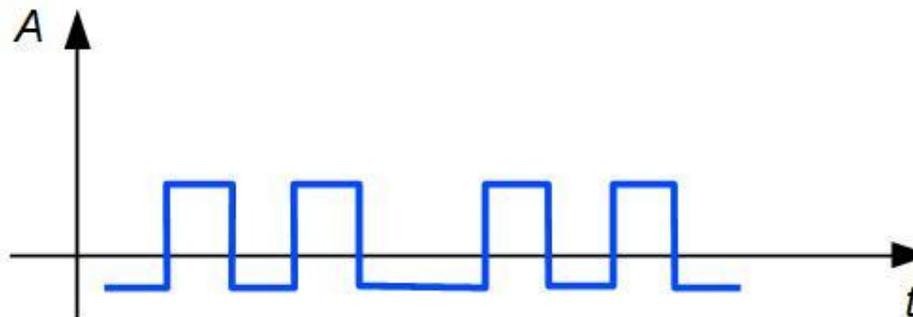
Передача данных по каналам связи осуществляется с помощью их физического представления – электрических (электрический ток), оптических (свет) или электромагнитных сигналов.

□ 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.

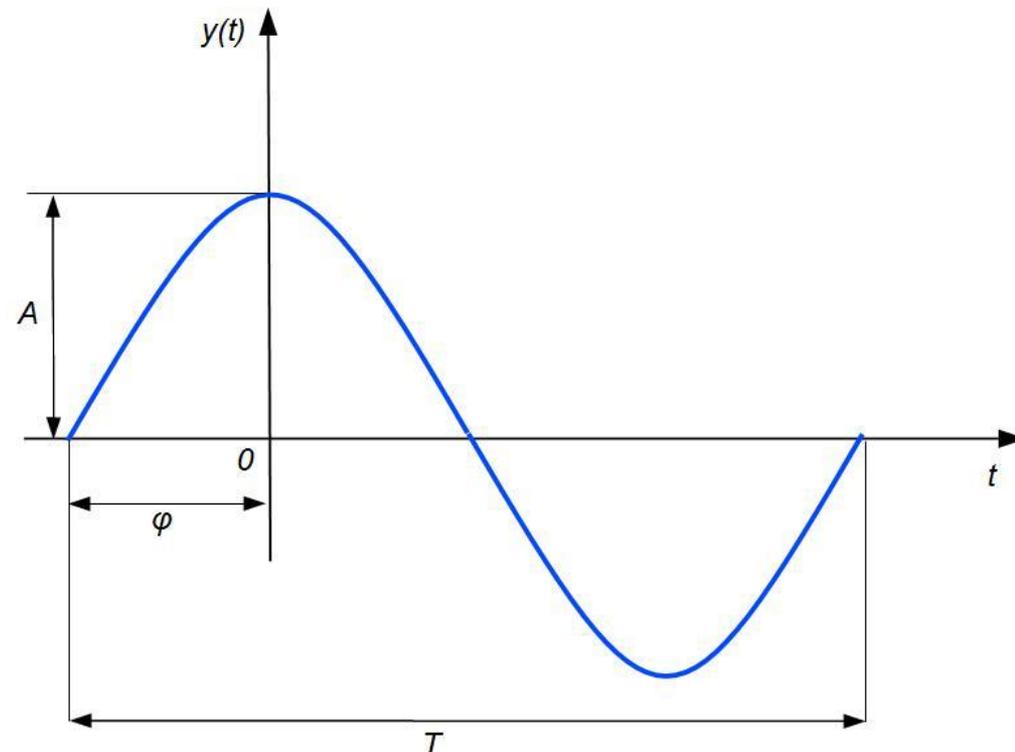
$$y(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

$A$  – амплитуда сигнала;

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

$\varphi_0$  – начальная фаза гармонического сигнала;

$t$  – время.

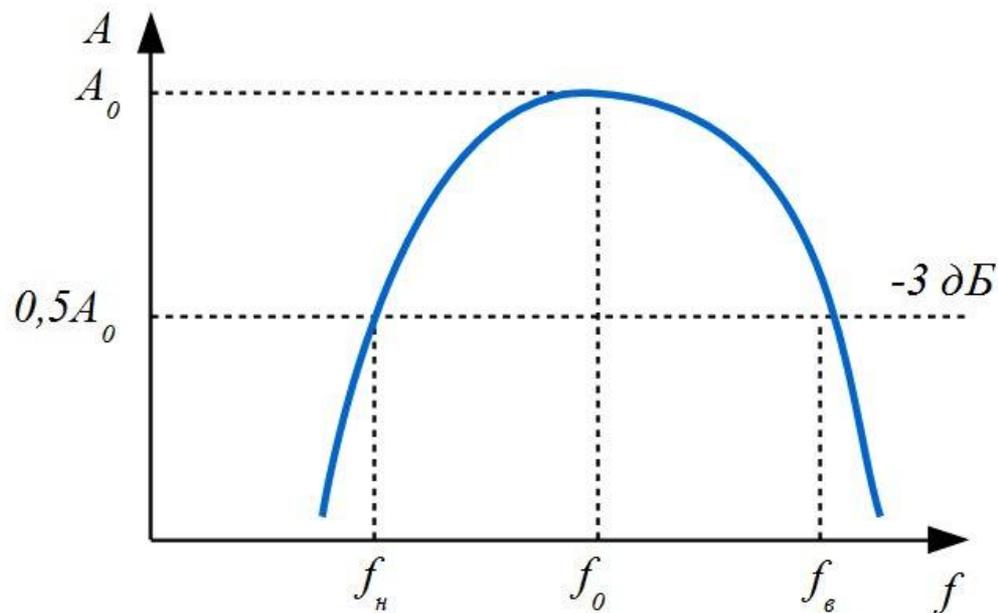


## Основные характеристики канала СВЯЗИ

- 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

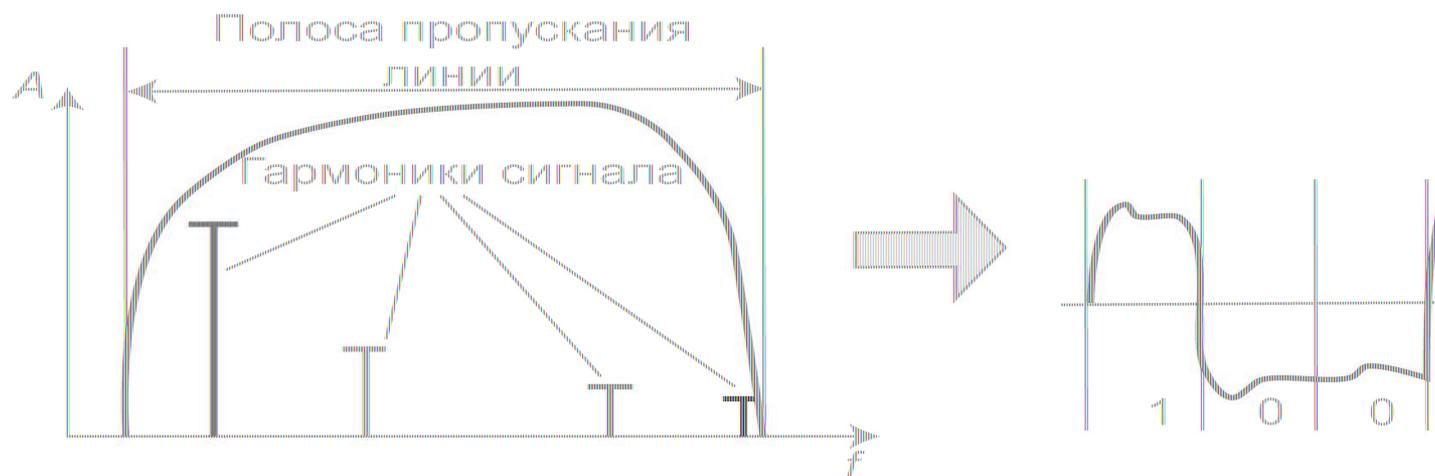
- ❑ **Полоса пропускания** (bandwidth) – диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) линии связи достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.
- ❑ Измеряется полоса пропускания в *герцах* (Гц).



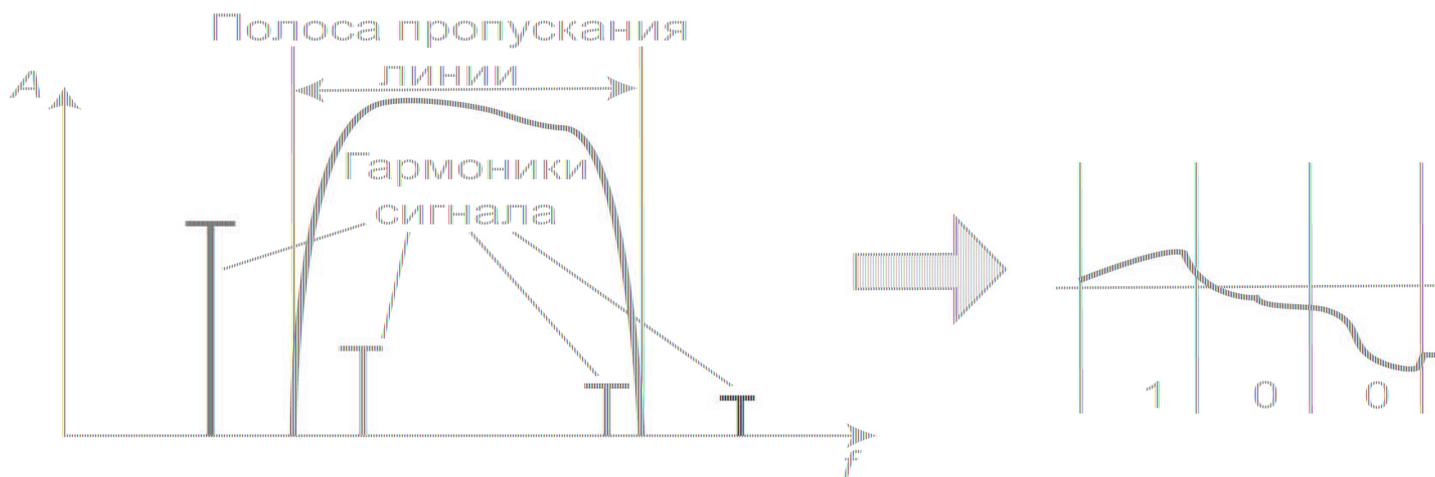
## ❑ Ширина полосы пропускания:

- ❑ 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:

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

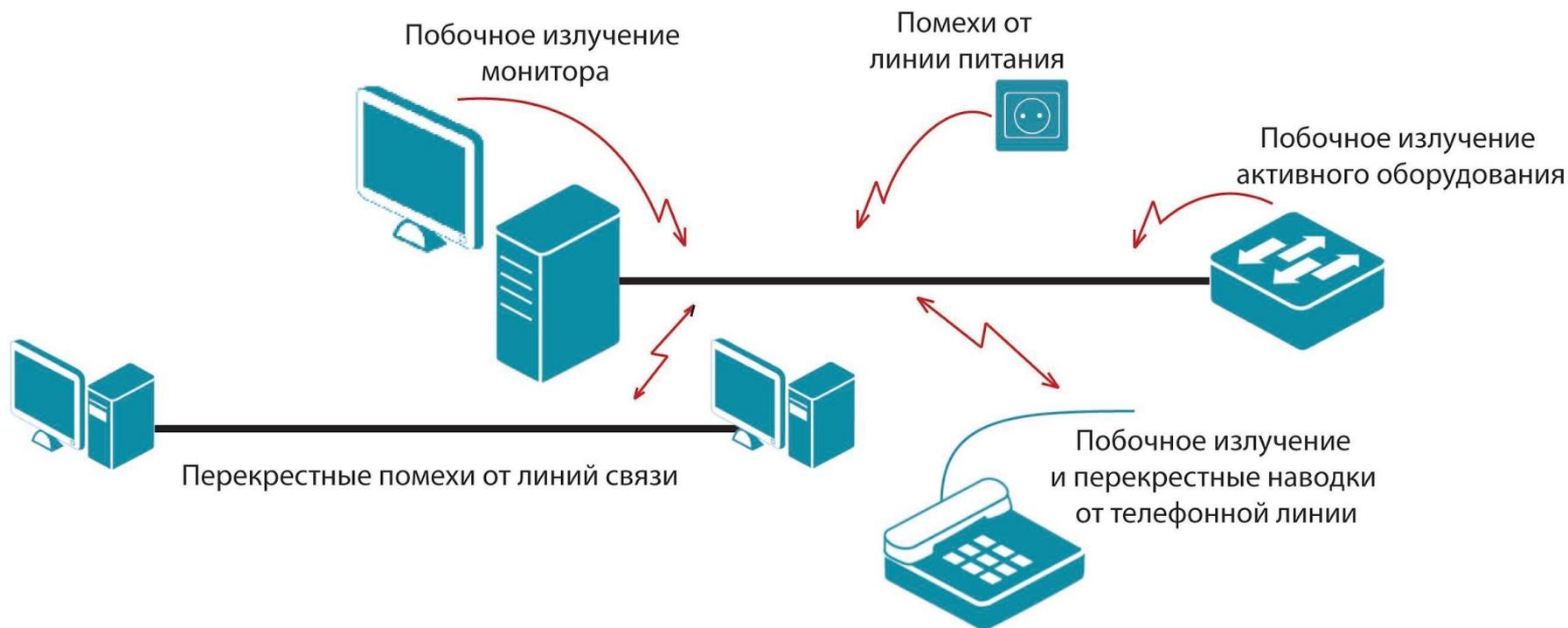
где  $P_{\text{ВЫХ}}$  — мощность выходного сигнала;  $P_{\text{ВХ}}$  — мощность входного сигнала.

### □ 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.
- ❑ **Демультиплексор** (demultiplexer, DEMUX) распределяет данные, полученные из общего физического канала по группе выходных каналов.

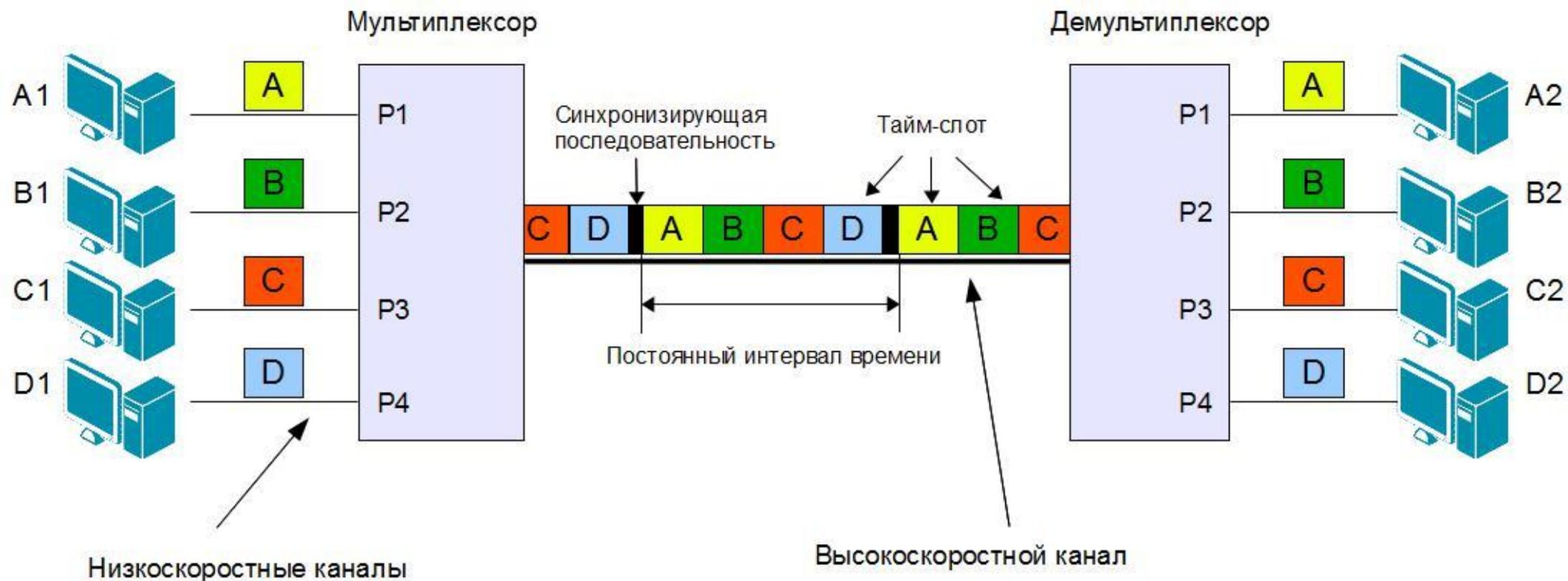
- **В компьютерных сетях используются следующие основные виды мультиплексирования:**
  - временное мультиплексирование (TDM);
  - частотное мультиплексирование (FDM);
  - волновое мультиплексирование (WDM);
  - мультиплексирование с кодовым разделением (CDM).

## Методы совместного использования среды передачи

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

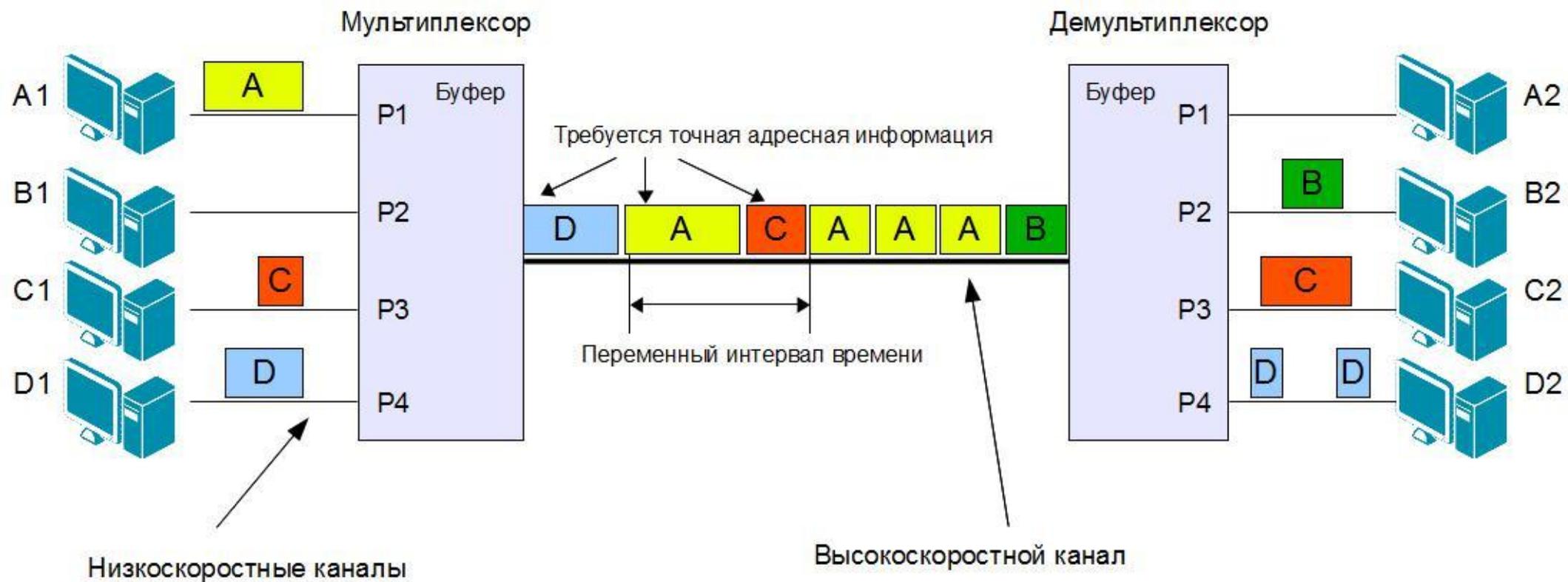
- Существуют два типа временного мультиплексирования — *синхронный* и *асинхронный*.

### 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.

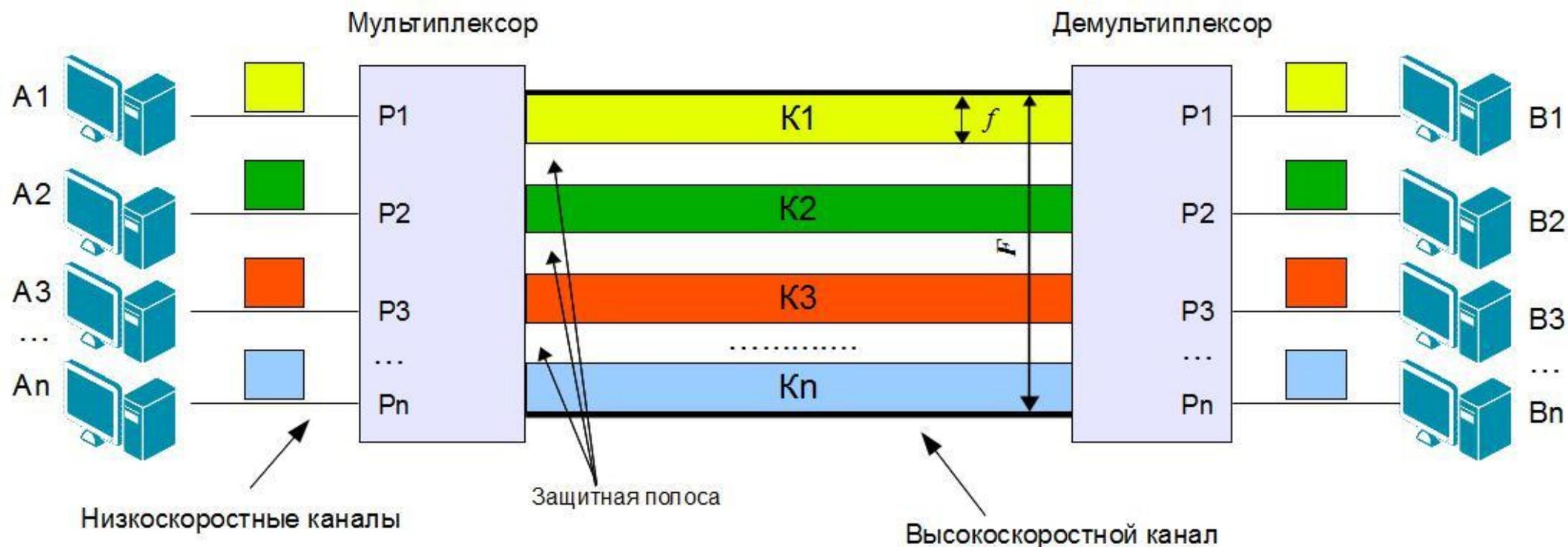
### Асинхронный или статистический TDM



- 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.

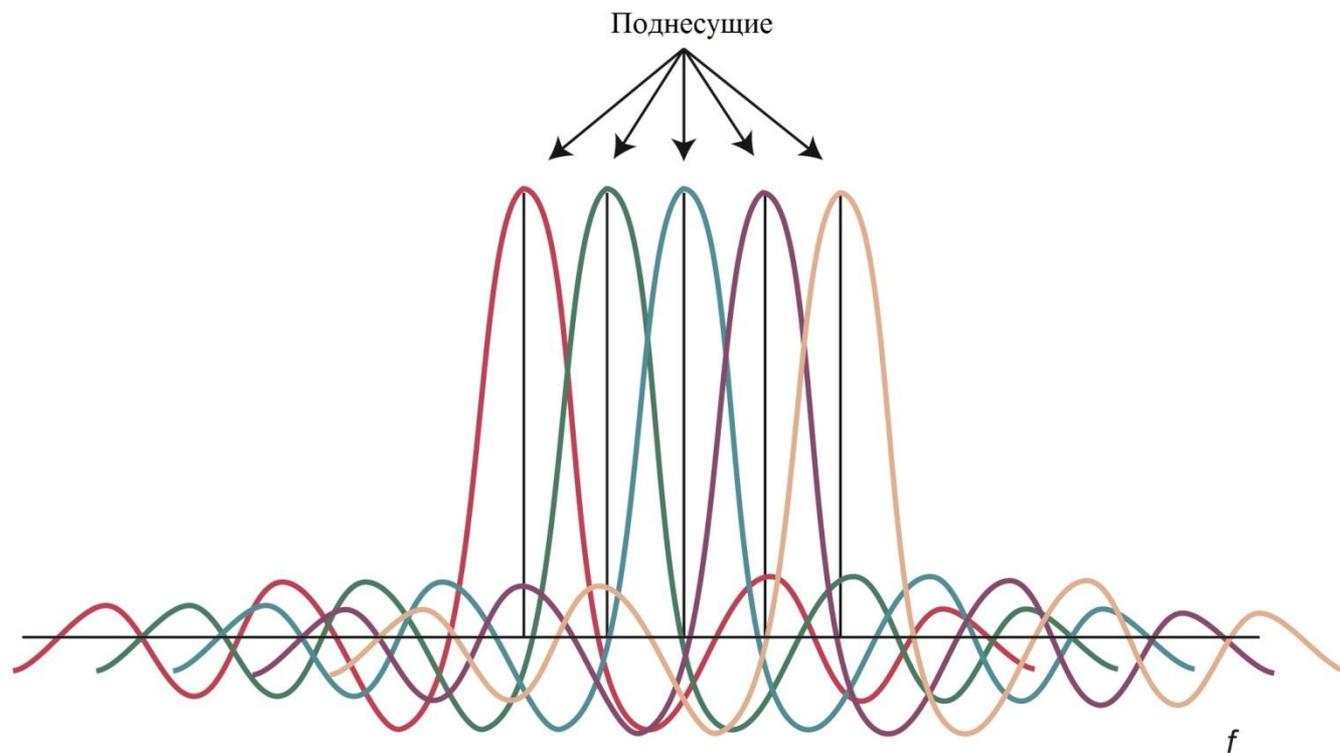
## Методы совместного использования среды передачи

**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*)

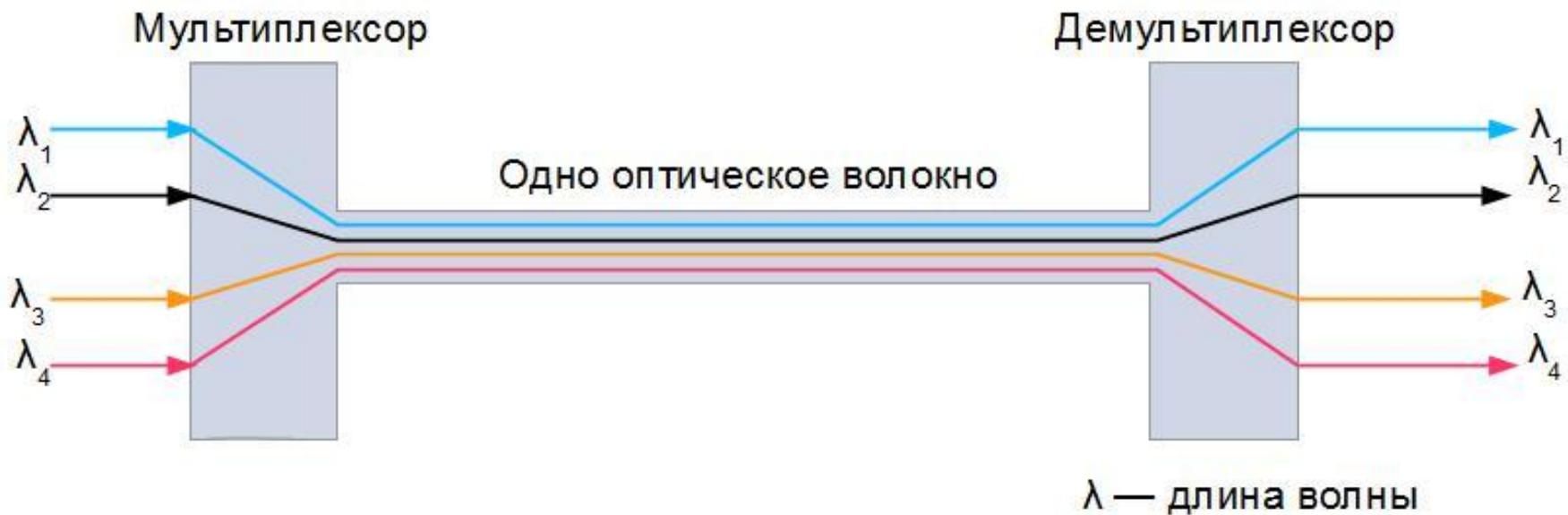


#### □ **Достоинства:**

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

## Методы совместного использования среды передачи

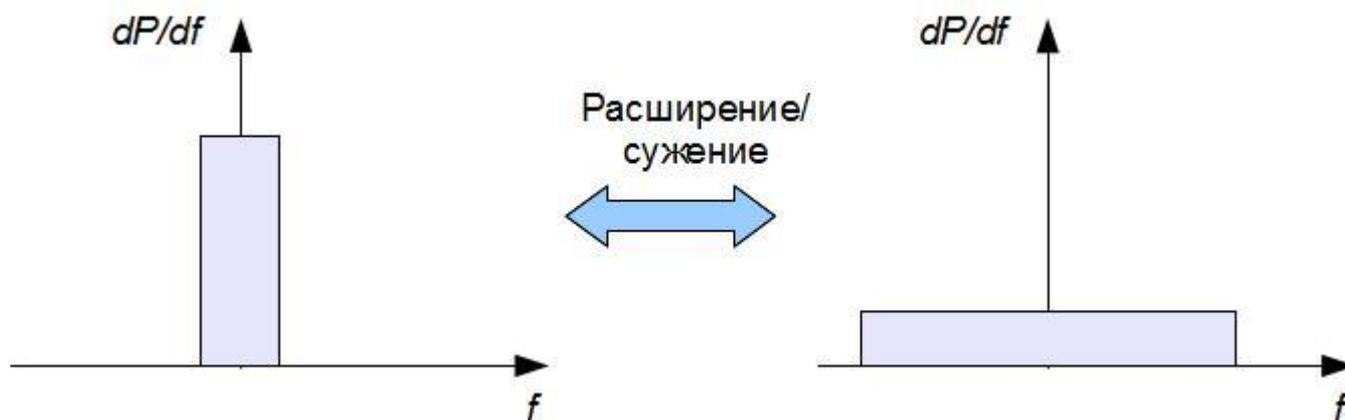
Мультиплексирование со спектральным разделением (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*)



- ❑ **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*).

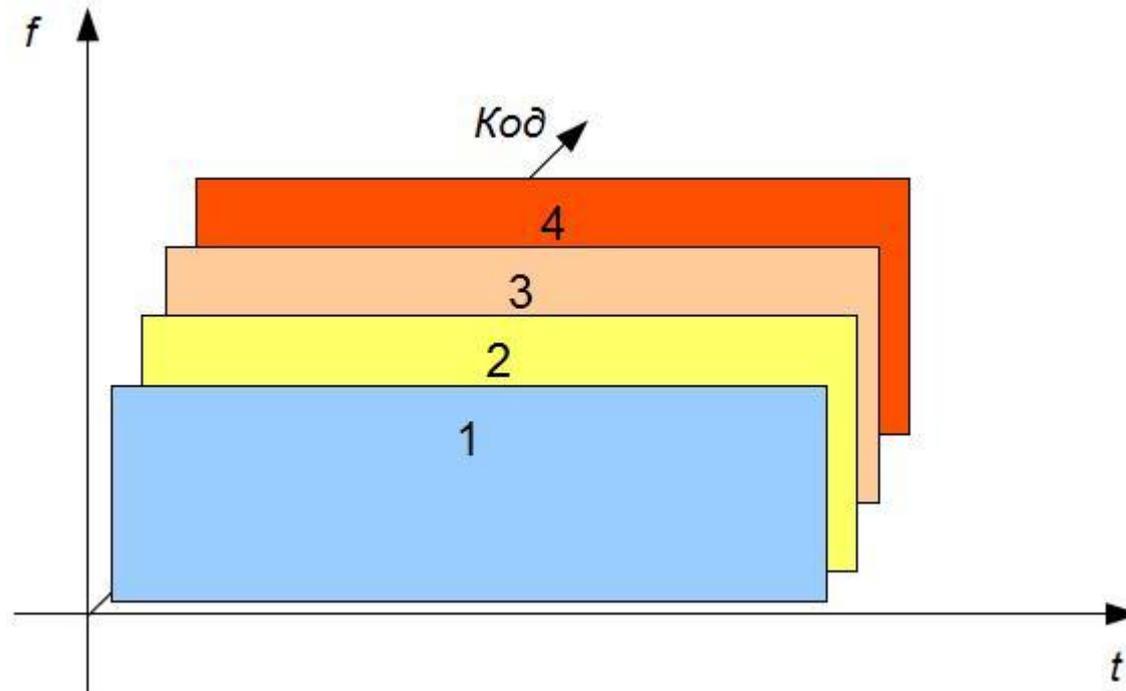
□ CDM основано на *расширении спектра* (Spread Spectrum).



### □ 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).

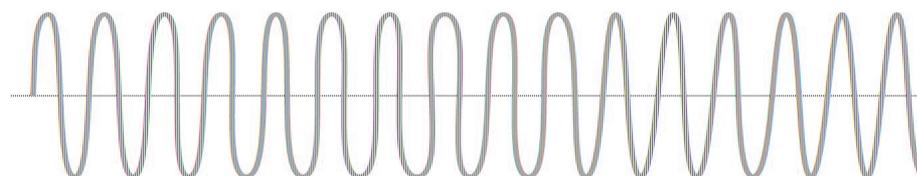
## ❑ **Аналоговая модуляция:**

- ❑ 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*.

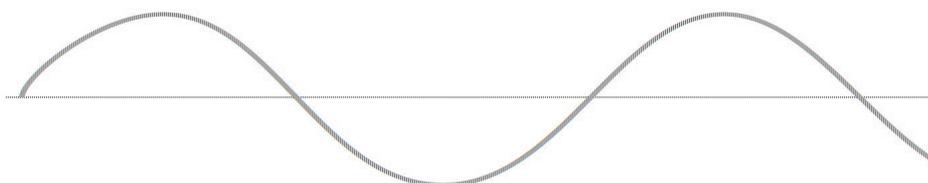
## ❑ **Методы аналоговой модуляции:**

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

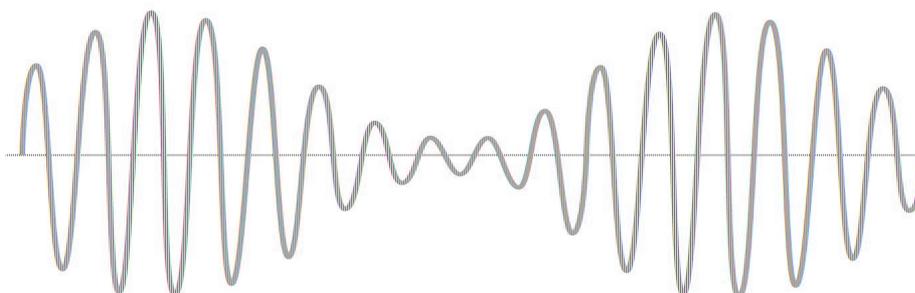
### Амплитудная и частотная модуляция аналогового сигнала



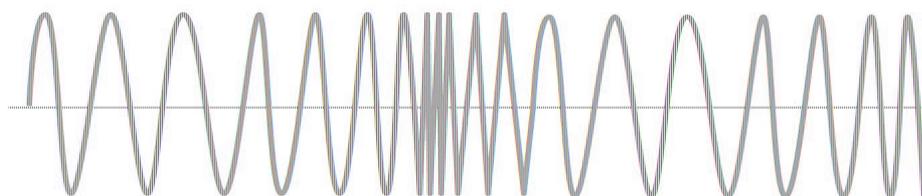
Сигнал несущей



Модулирующий сигнал



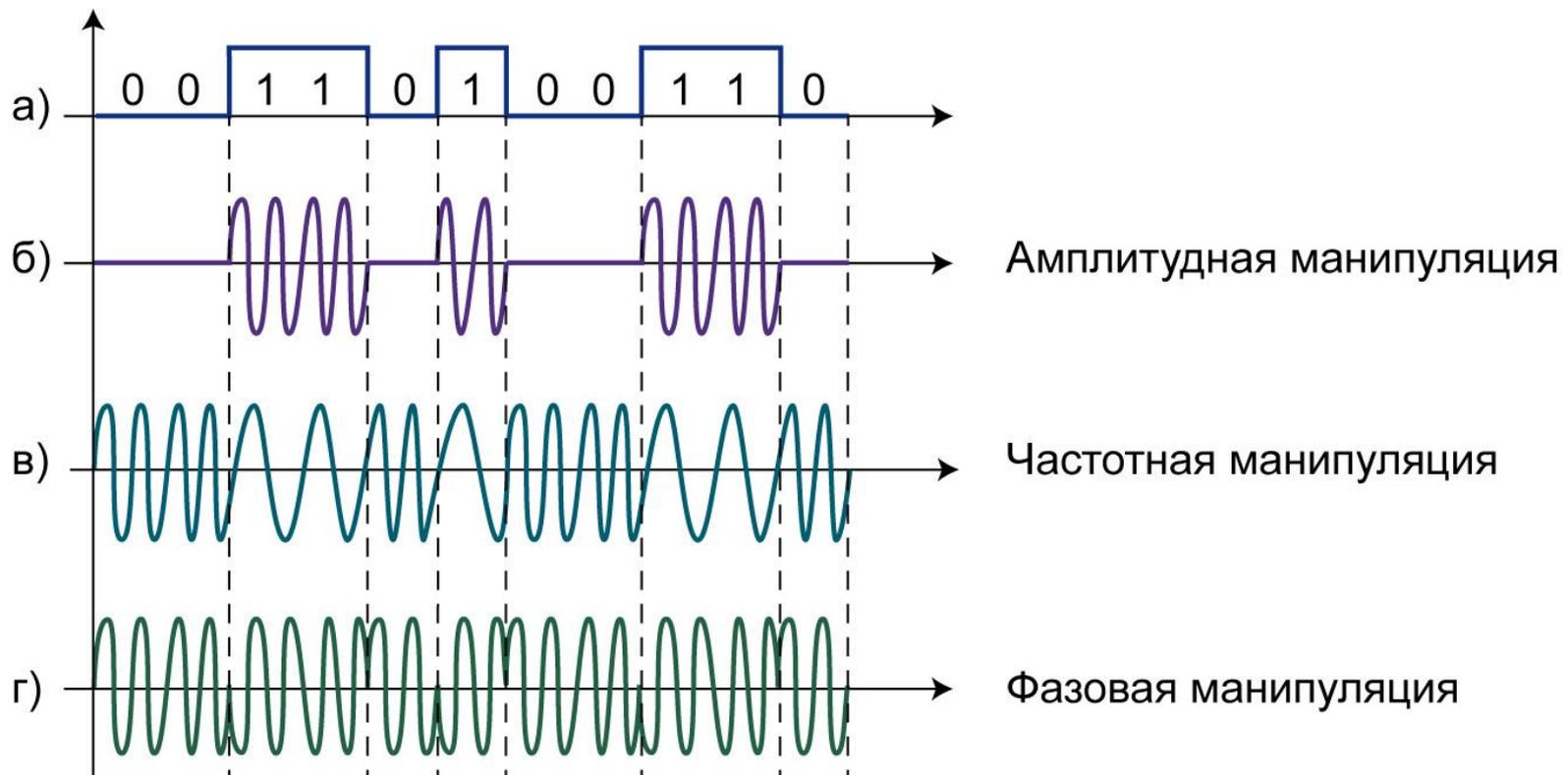
Амплитудная модуляция



Частотная модуляция

# Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ 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  $0^\circ$  и  $180^\circ$ .

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

- ❑ 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  $180^\circ$ , используются сдвиги фаз, кратные  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). 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.

## Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ **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  $90^\circ$ .
- ❑ 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:

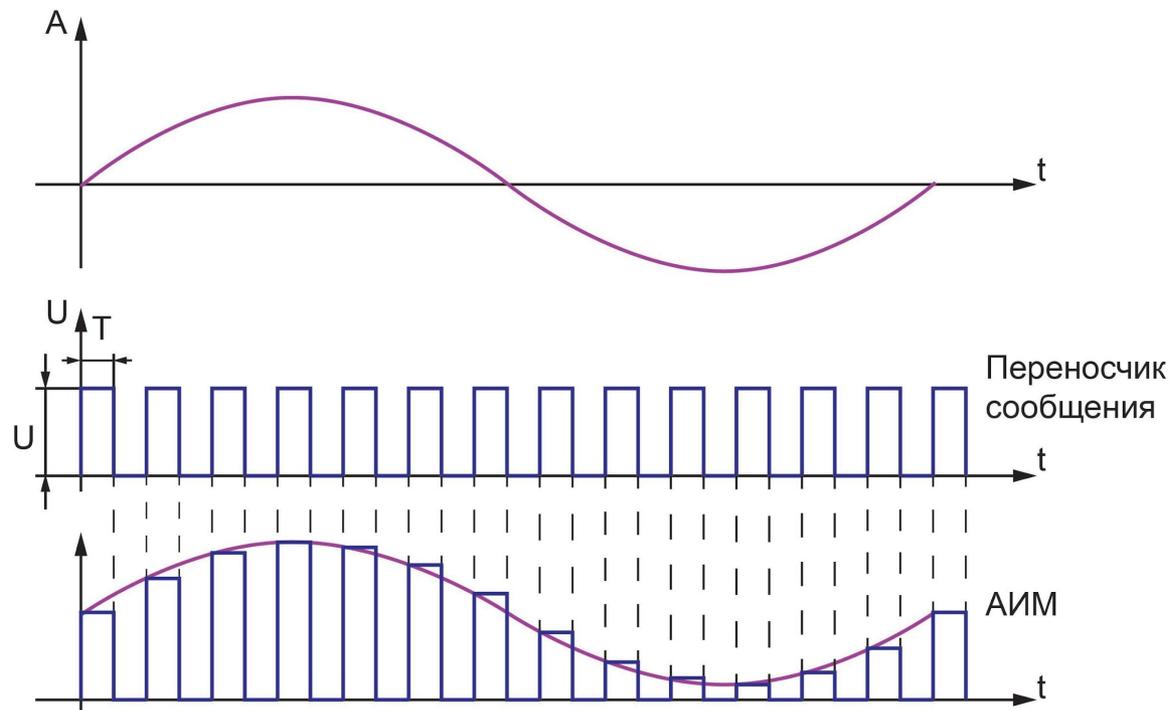
- используется при передаче дискретизированных данных по цифровым каналам связи;
- в качестве несущей использует не гармонический сигнал, а периодические последовательности импульсов;
- позволяет выполнять одновременную передачу сигналов по одному каналу связи, используя мультиплексирование с разделением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

## □ Методы импульсной модуляции:

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

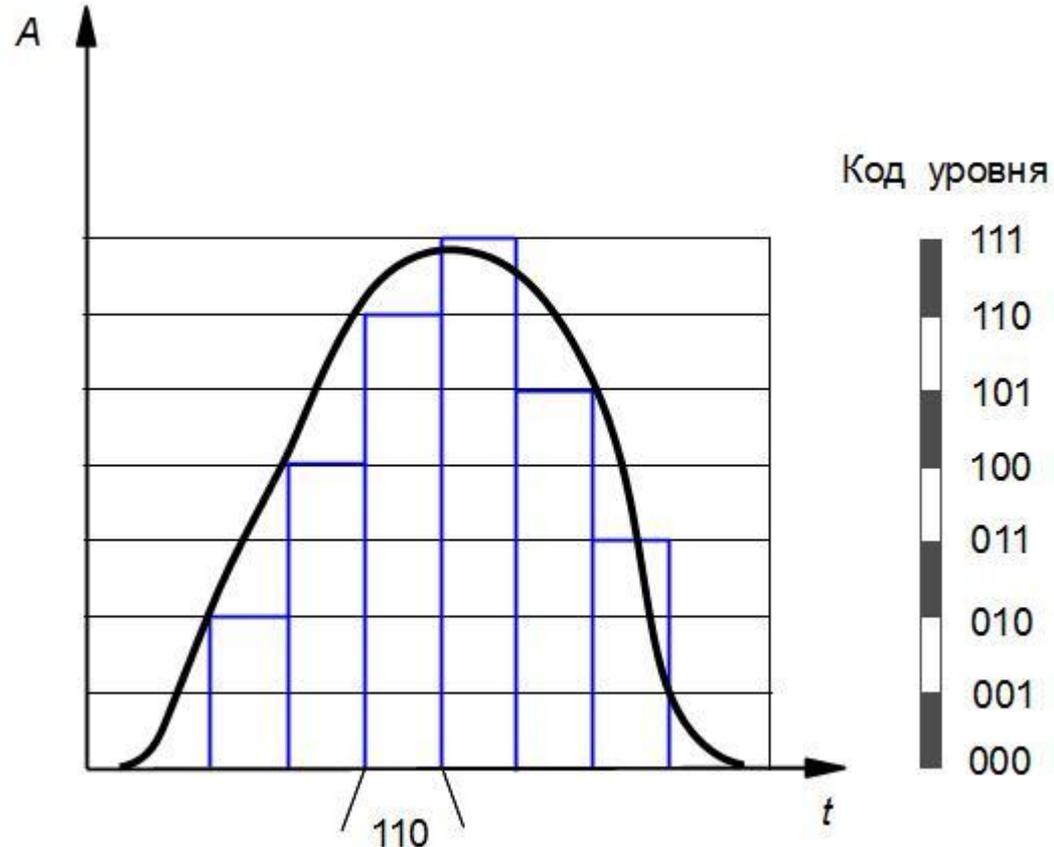
# Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ 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 отстают от начала периода на интервалы времени, пропорциональные информационному сигналу. Обычно этот тип модуляции используется при передаче данных по оптическим каналам связи.

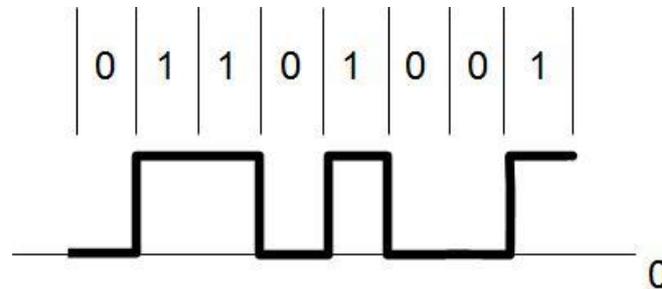
- ❑ **Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) (Pulse Code Modulation, PCM)** является методом преобразования аналоговых данных в цифровой сигнал. Далее этот цифровой сигнал может быть передан через цифровой канал связи, используя один из методов физического кодирования, или преобразован в аналоговый сигнал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



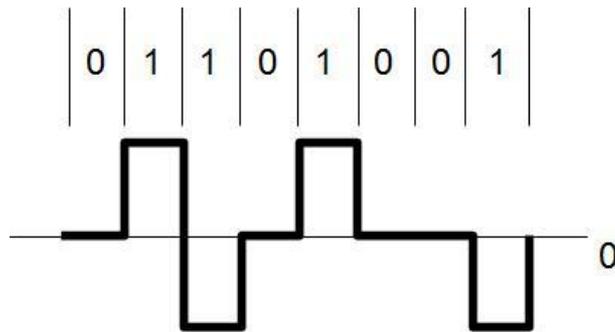
- ❑ Импульсно-кодовая модуляция широко используется в IP-телефонии.

# Модуляция и кодирование сигналов

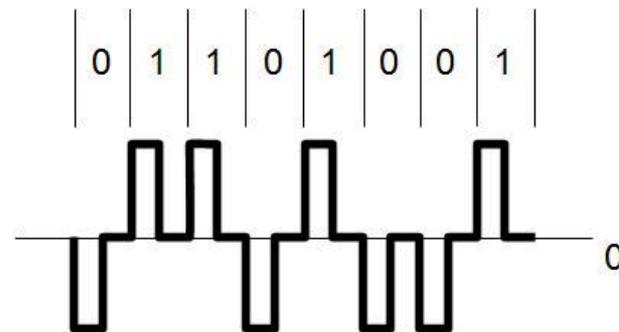
- ❑ **Цифровое кодирование** (цифровая основополосная модуляция) служит для передачи цифровых данных через основополосные каналы связи.
- ❑ При цифровом кодировании цифровой информации применяют *потенциальные* и *импульсные* коды.
- ❑ В **потенциальных кодах** для представления логических единиц и нулей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



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



а)

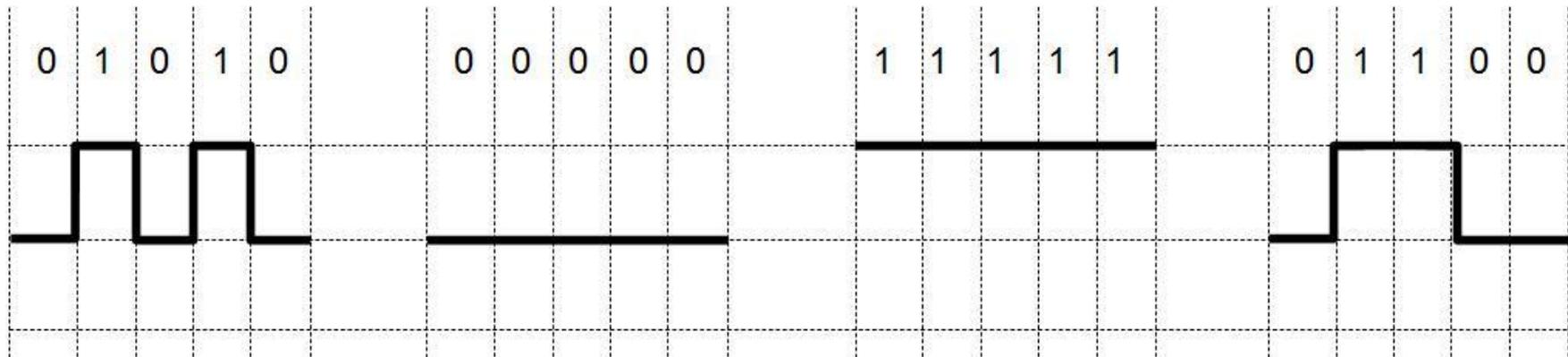


б)

- **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).*

- 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.



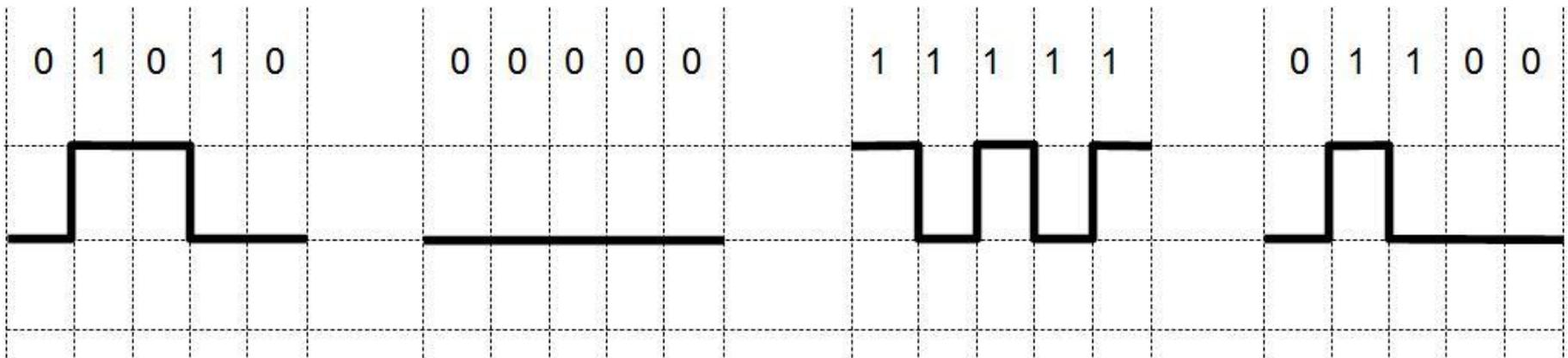
## □ Достоинства:

- 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.

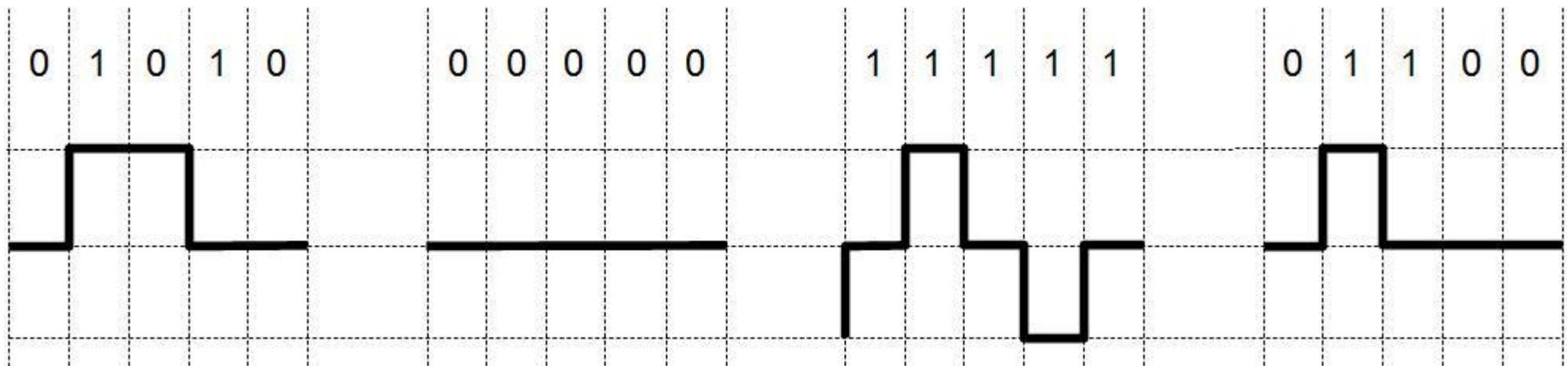
## Модуляция и кодирование сигналов

- ❑ 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.

- ❑ **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.

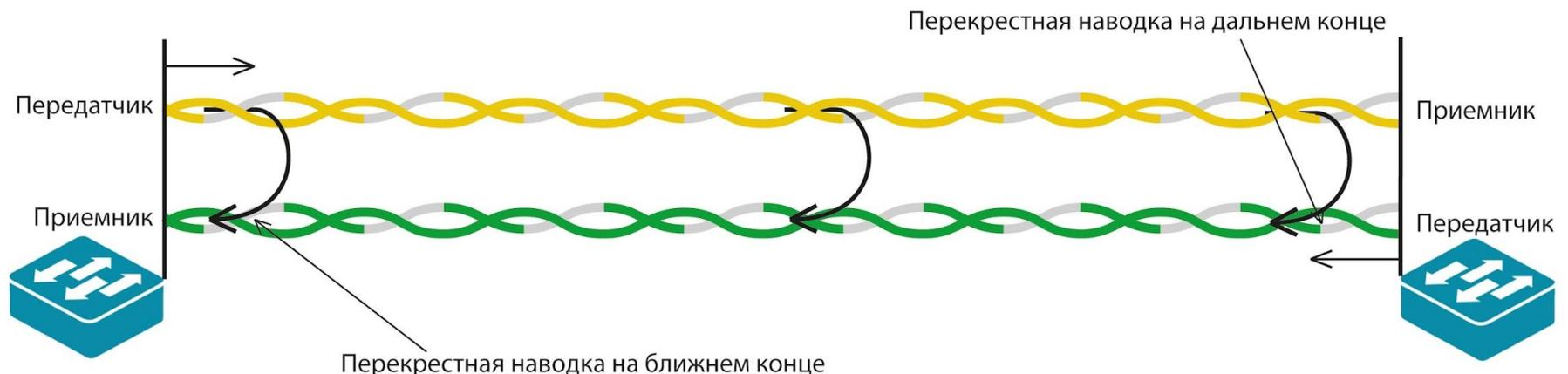
**□ волоконно-оптические:**

- ✓ 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

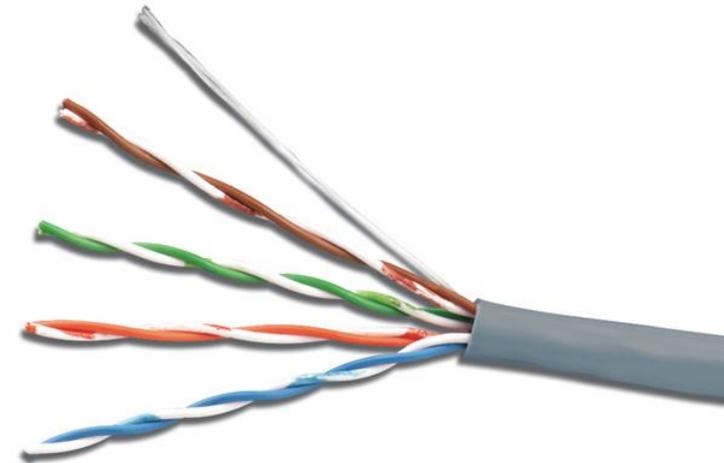
- Для достижения наилучших характеристик производительности рекомендуется, чтобы твинаксиальные кабели для сетей спецификаций 10GBASE-CX4, 40GBASE-CR4 и 100GBASE-CR10 имели заводскую терминацию.



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

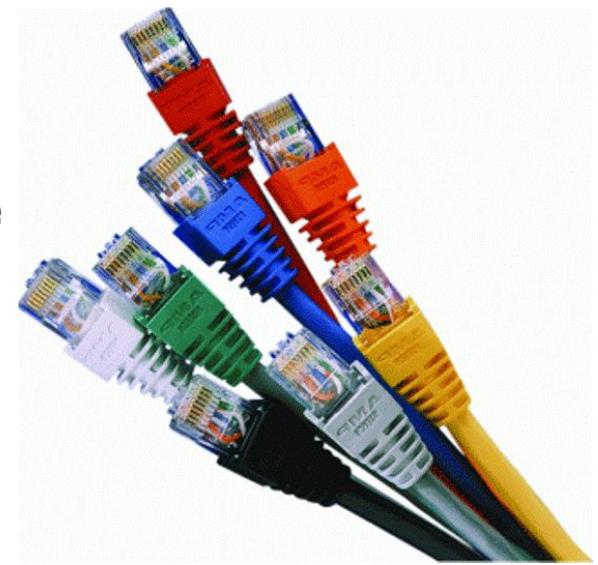
❑ **Характеристики:**

- ❑ 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.



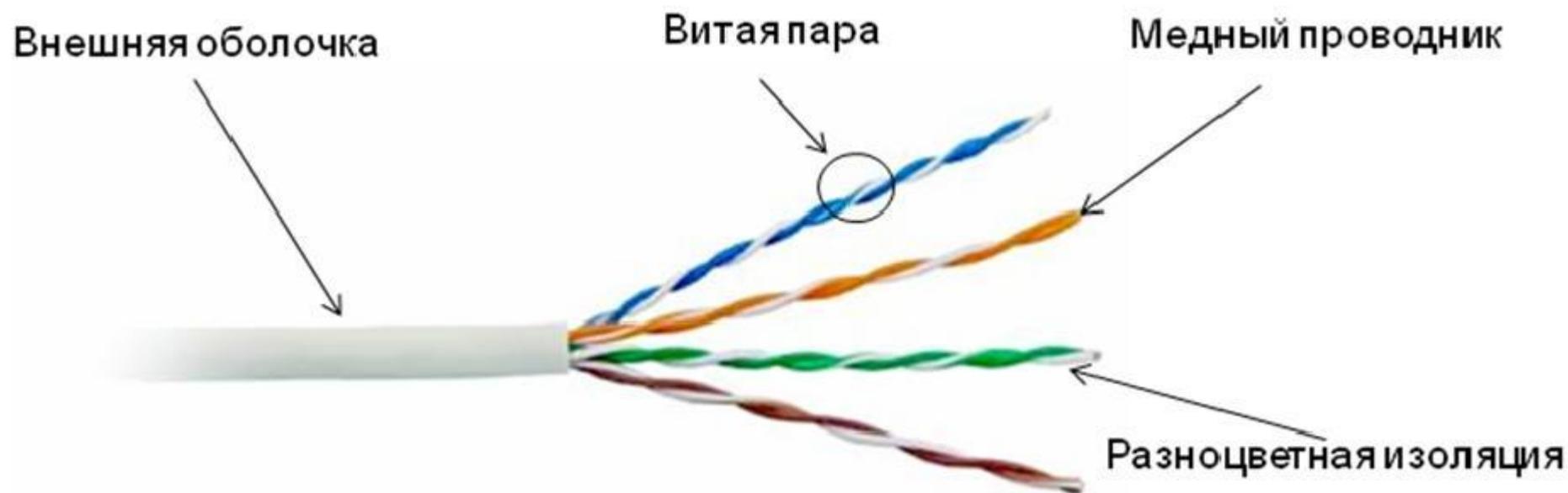
❑ **Существуют два основных типа кабелей на основе витой пары:**

- ❑ **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.

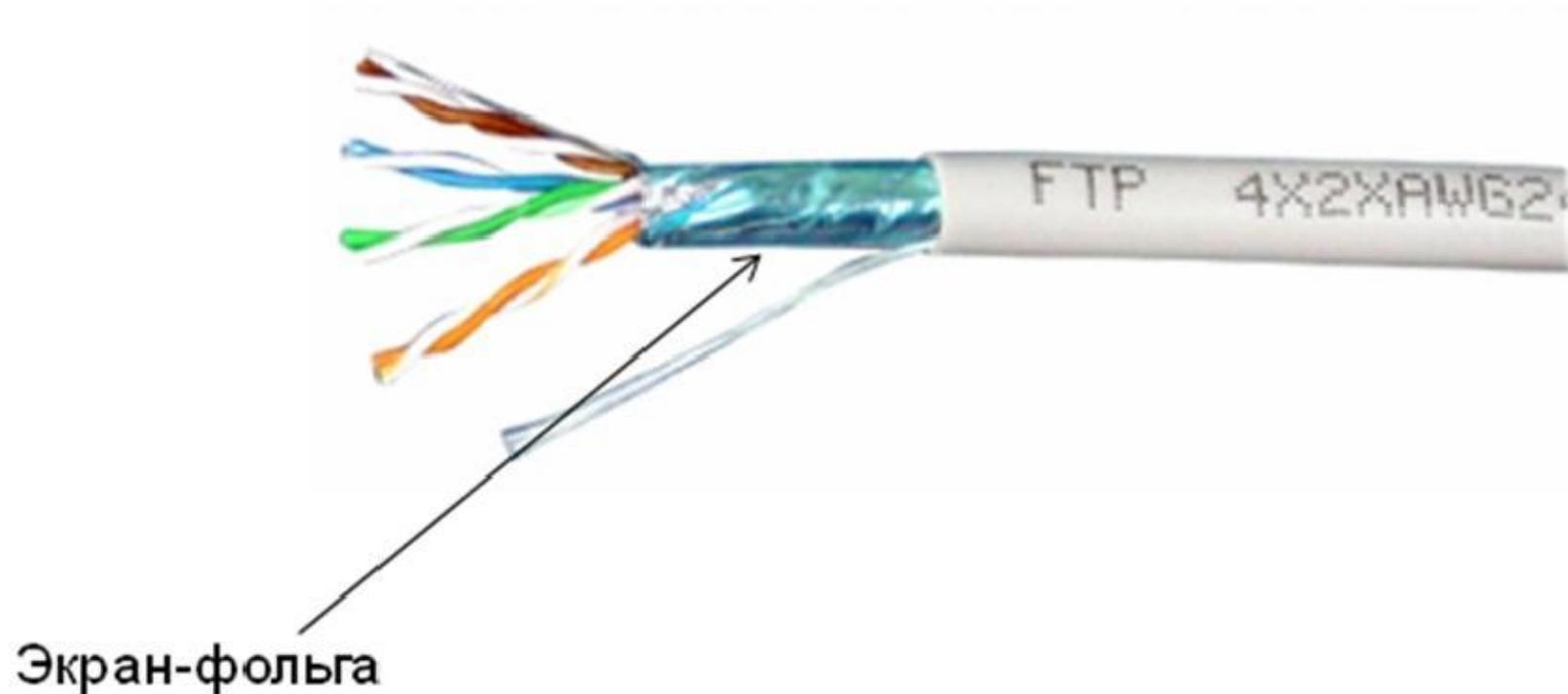


**Экранированные кабели** имеют дополнительную защиту.

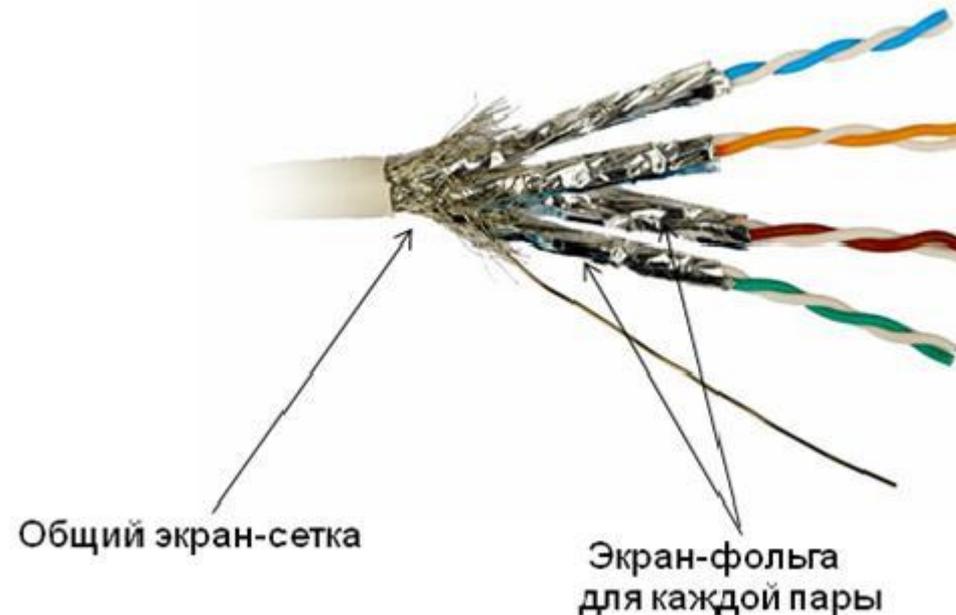
- ❑ **Разновидности кабелей на основе экранированной витой пары:**
  - ❑ экранированная витая пара (STP, Shielded Twisted Pair);
  - ❑ защищенная витая пара (ScTP, Screened twisted pair);
  - ❑ защищенная экранированная витая пара (SSTP, Screened Shielded Twisted Pair).
- ❑ В **экранированных кабелях 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

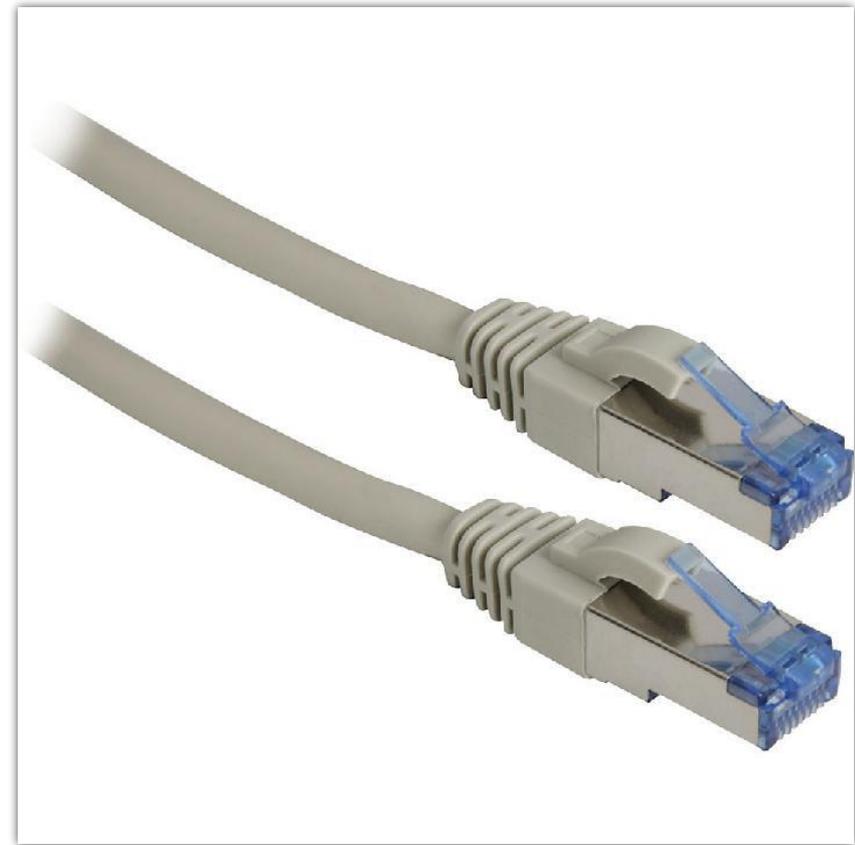
Название EIA/TIA-568	Название ISO/IEC 11801	Полоса частот (МГц)	Приложения	Дополнения и комментарии
-	Class A	до 100 КГц	xDSL	Телефонный кабель. Используется только для передачи голоса или данных при помощи аналогового или ADSL-модема.
-	Class B	до 1 МГц	ISDN, 1BASE5	Сейчас не используется
Category 3 (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.



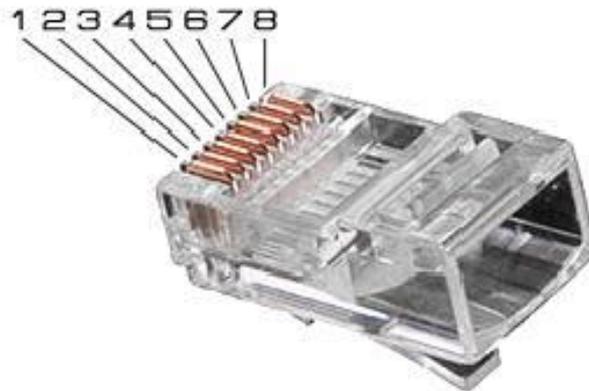
**Кабель UTP Cat. 5e  
с разъемами 8P8C (RJ-45)**



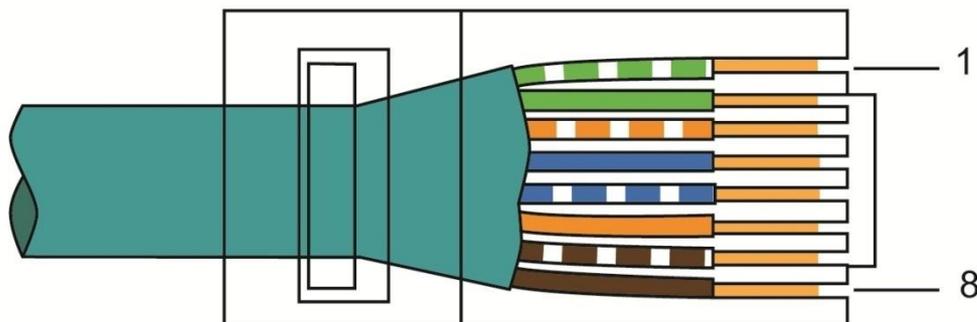
**Кабель F/UTP Cat. 6a  
с разъемами 8P8C (RJ-45)**

### Обжим незэкранированной и экранированной витой пары

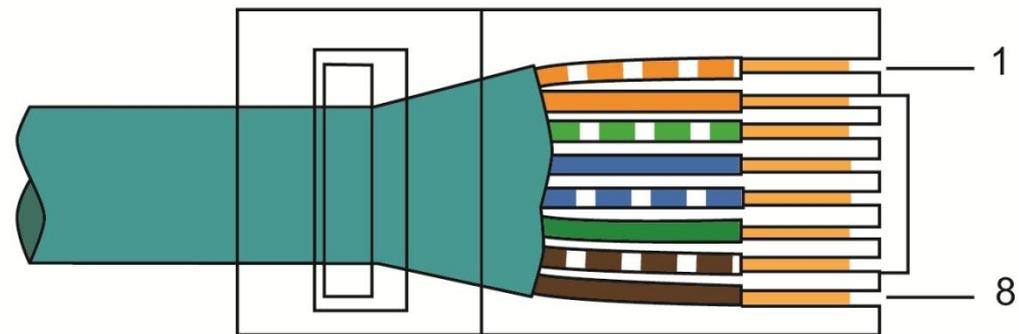
- ❑ Нумерация контактов разъема задается слева направо со стороны самих контактов.



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



EIA/TIA-568A

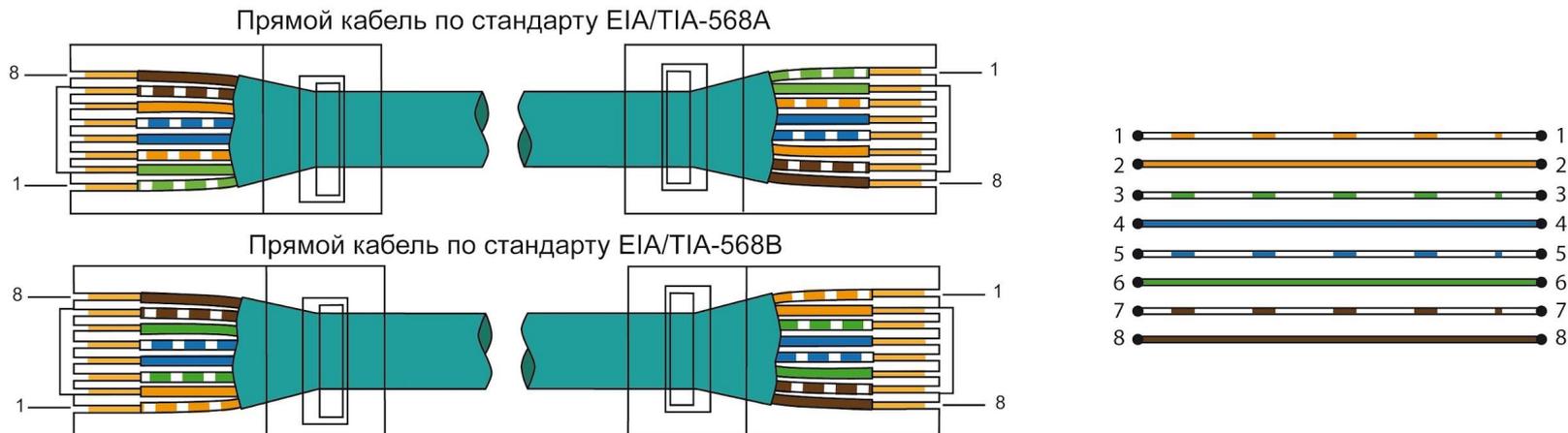


EIA/TIA-568B

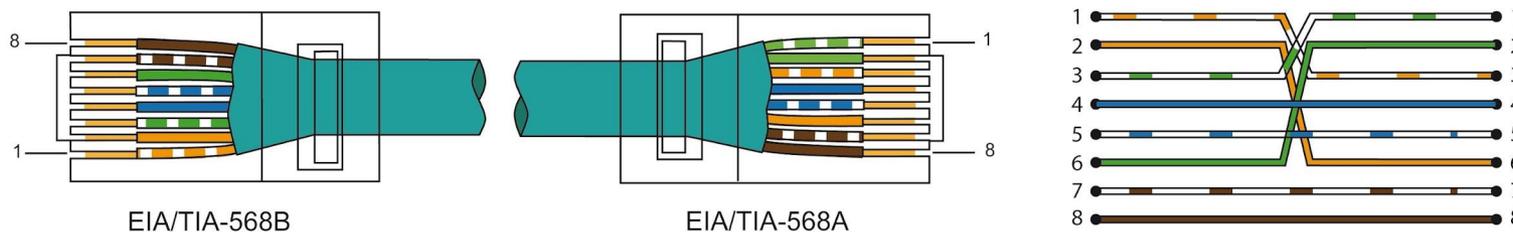
## Понятия «прямой» и «перекрестный» кабель

□ 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.



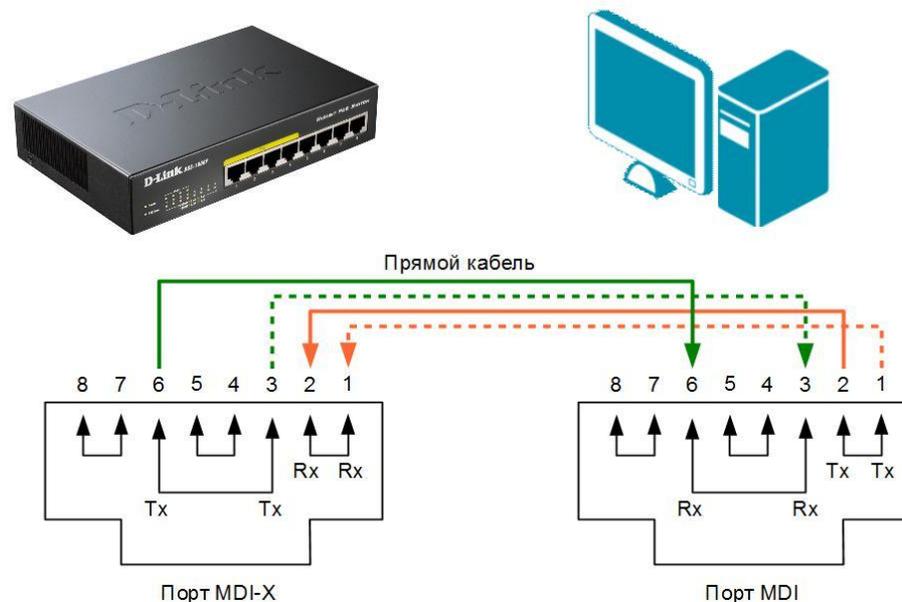
□ **Перекрестные** (crossover cable) – инвертированная разводка контактов с перекрещиванием пар внутри кабеля.



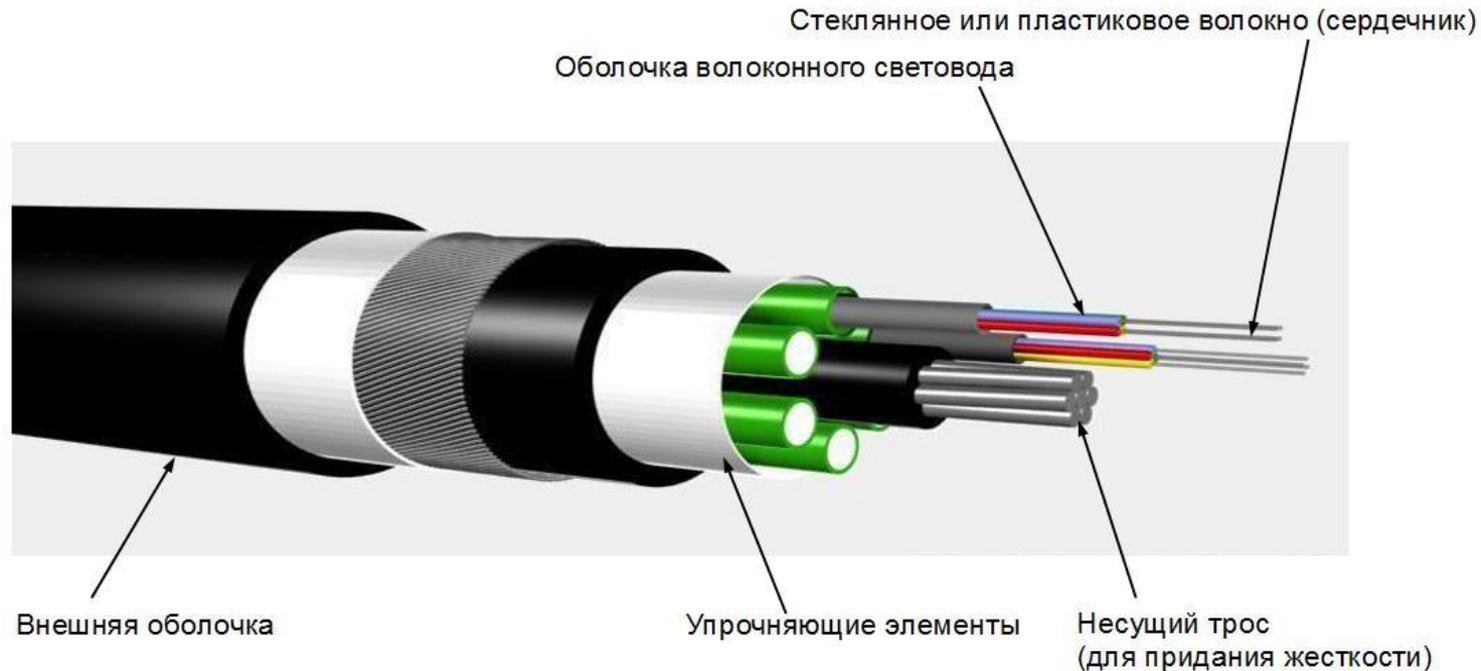
## Порты MDI и MDIX

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:**

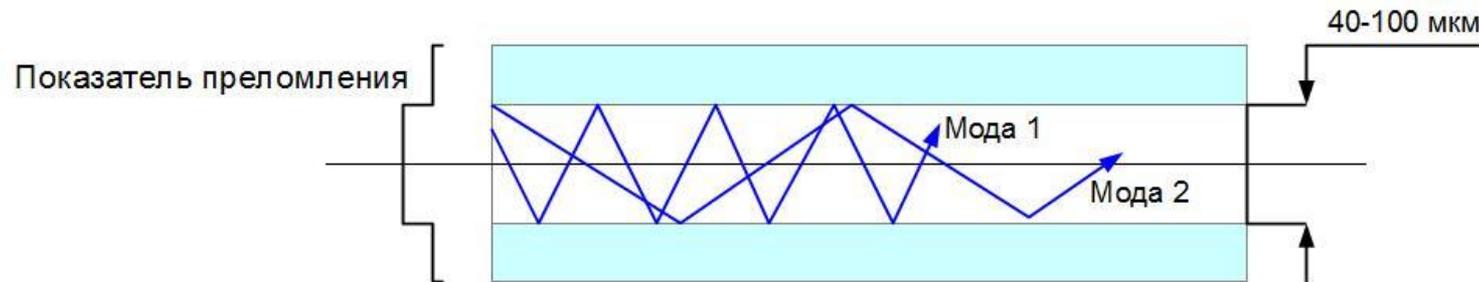
- ❑ сложность монтажа;
- ❑ высокая стоимость оптических сетевых устройств.

**Оптические волокна делятся на две основные группы:**

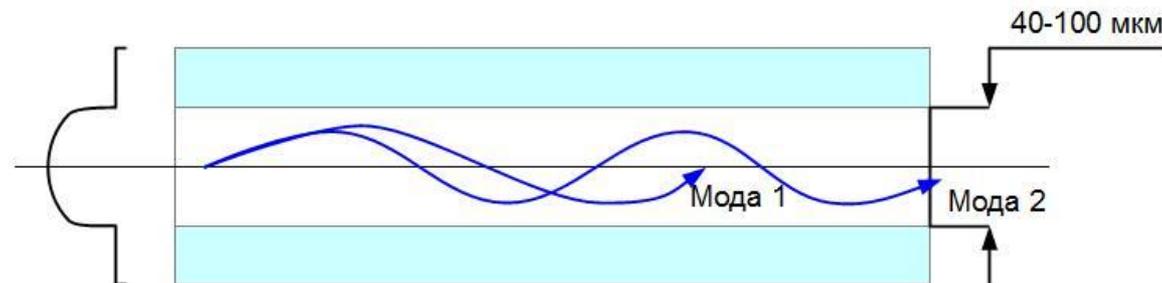
- многомодовые (Multi-Mode optical Fiber, MMF);
- одномодовые (Single-Mode optical Fiber, SMF).

❑ **Многомодовые волокна изготавливают двух видов:**

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



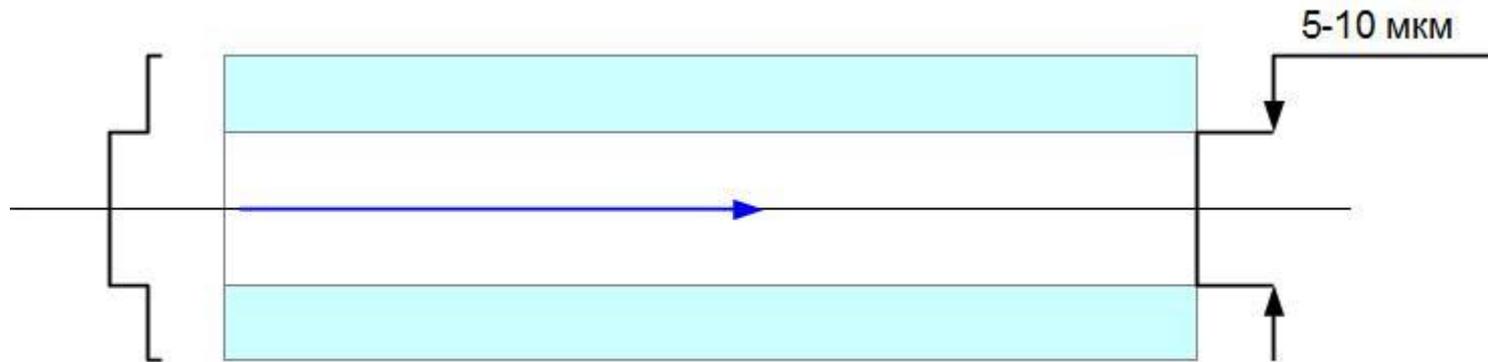
Многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления



Многомодовое волокно 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.

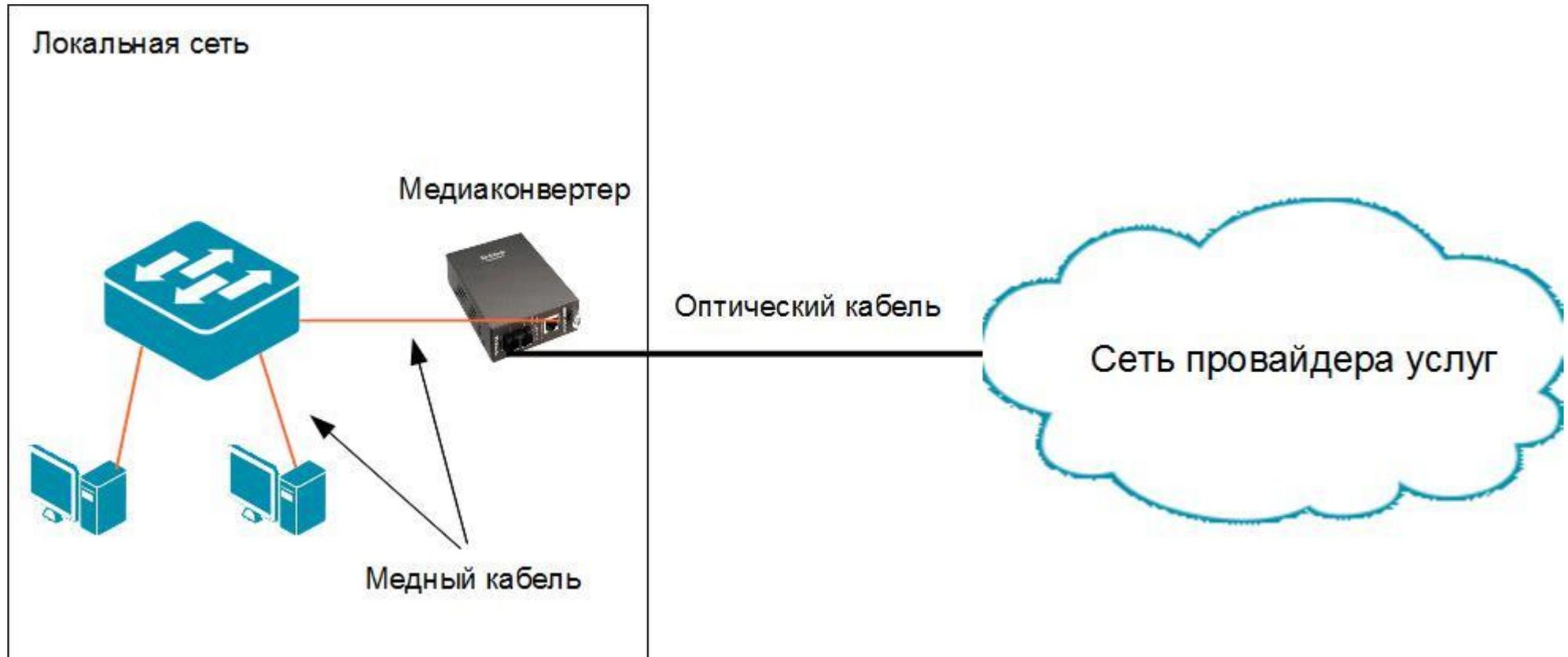
- Стандарты отличаются терминологией, перечнем функциональных компонентов СКС и количеством подсистем СКС.

- **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**



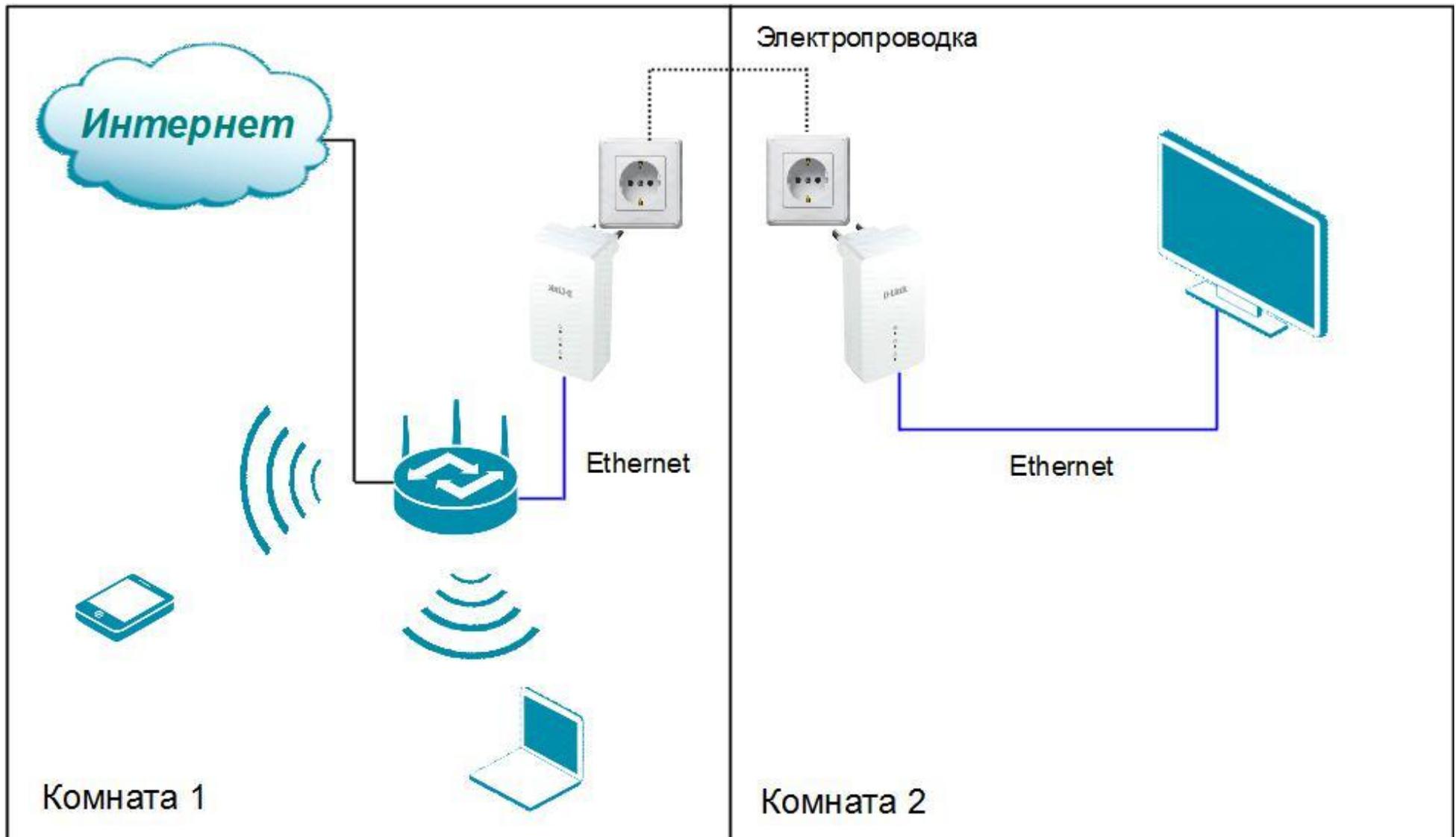
**Медиаконвертер  
со слотом SFP**



**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.

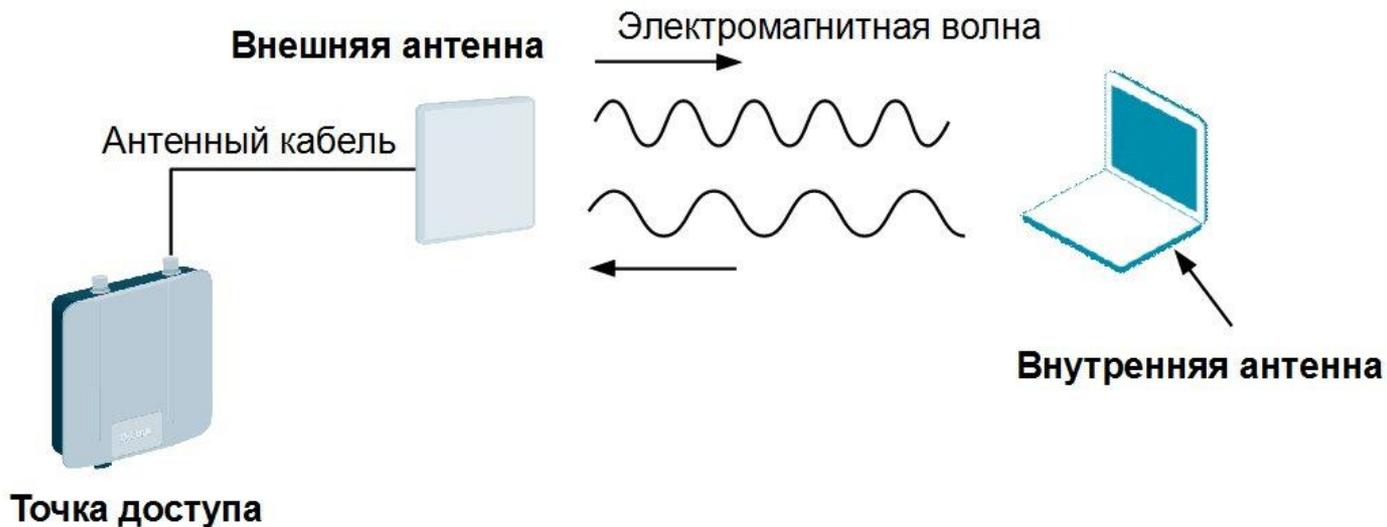
### ❑ **Недостатки:**

- ❑ 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.

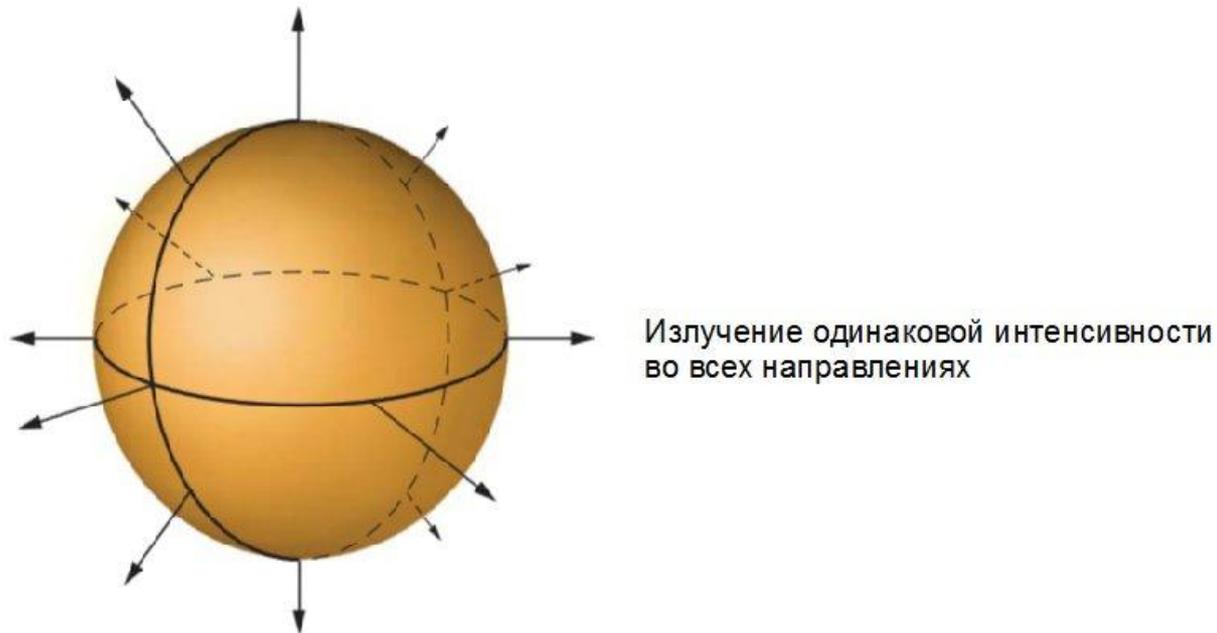
- ❑ На практике коэффициент усиления выражают через логарифмическое отношение мощностей, напряжений или токов в децибелах (dB):

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

- ❑ 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

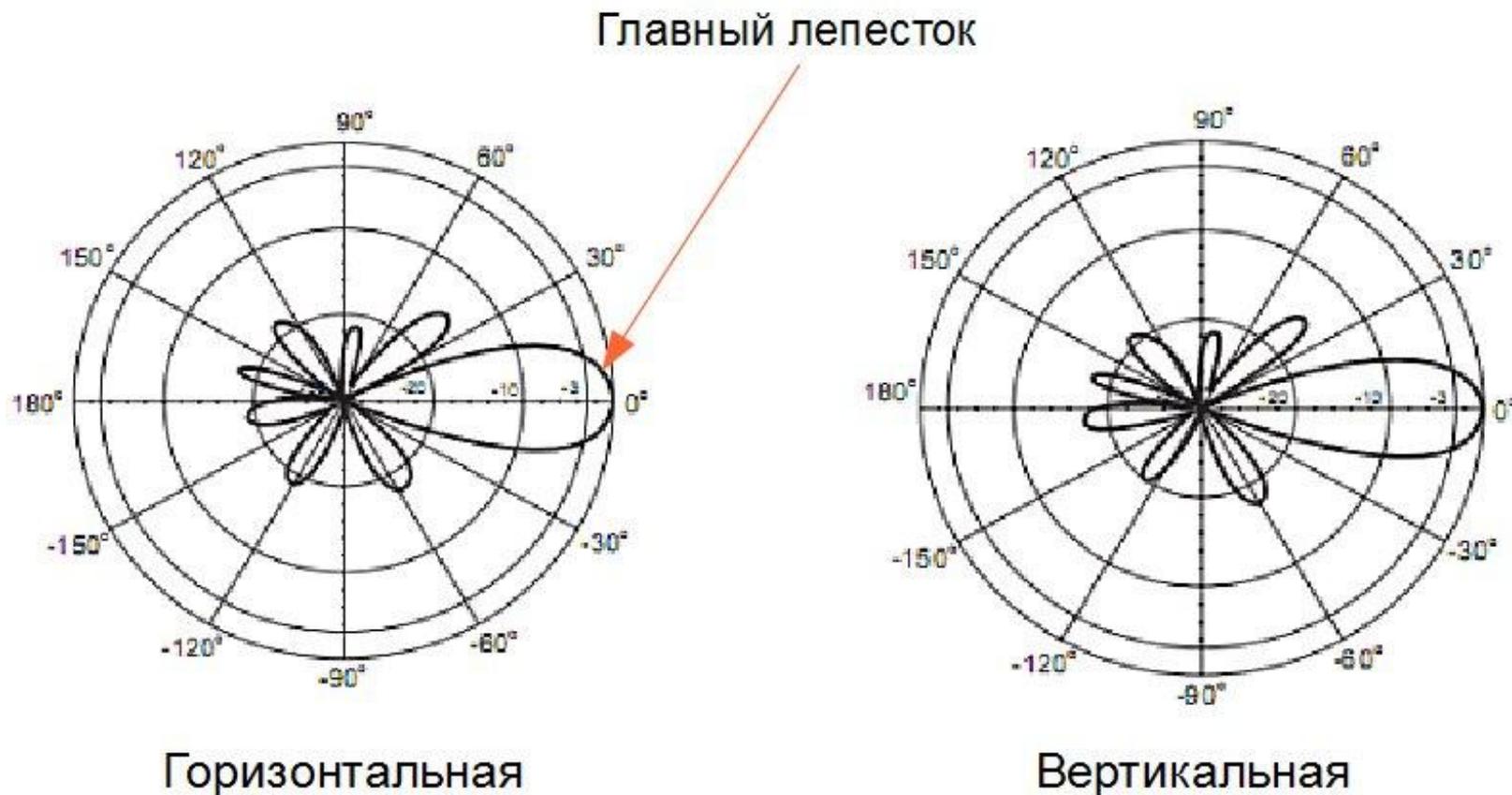
- ❑ **Изотропная антенна** – это идеальная (теоретическая) антенна, излучающая электромагнитную энергию одинаковой интенсивности во все направления. Изотропную антенну можно сравнить с Солнцем.



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

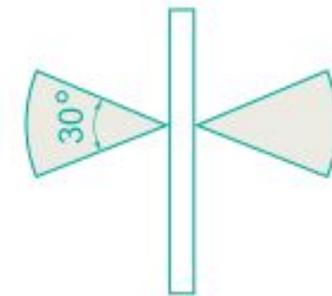
## Беспроводная среда передачи

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

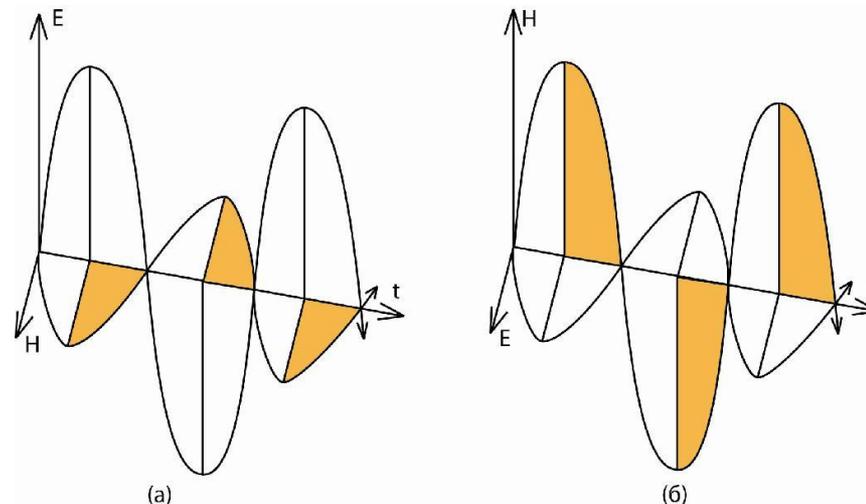


## Беспроводная среда передачи

- ❑ 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



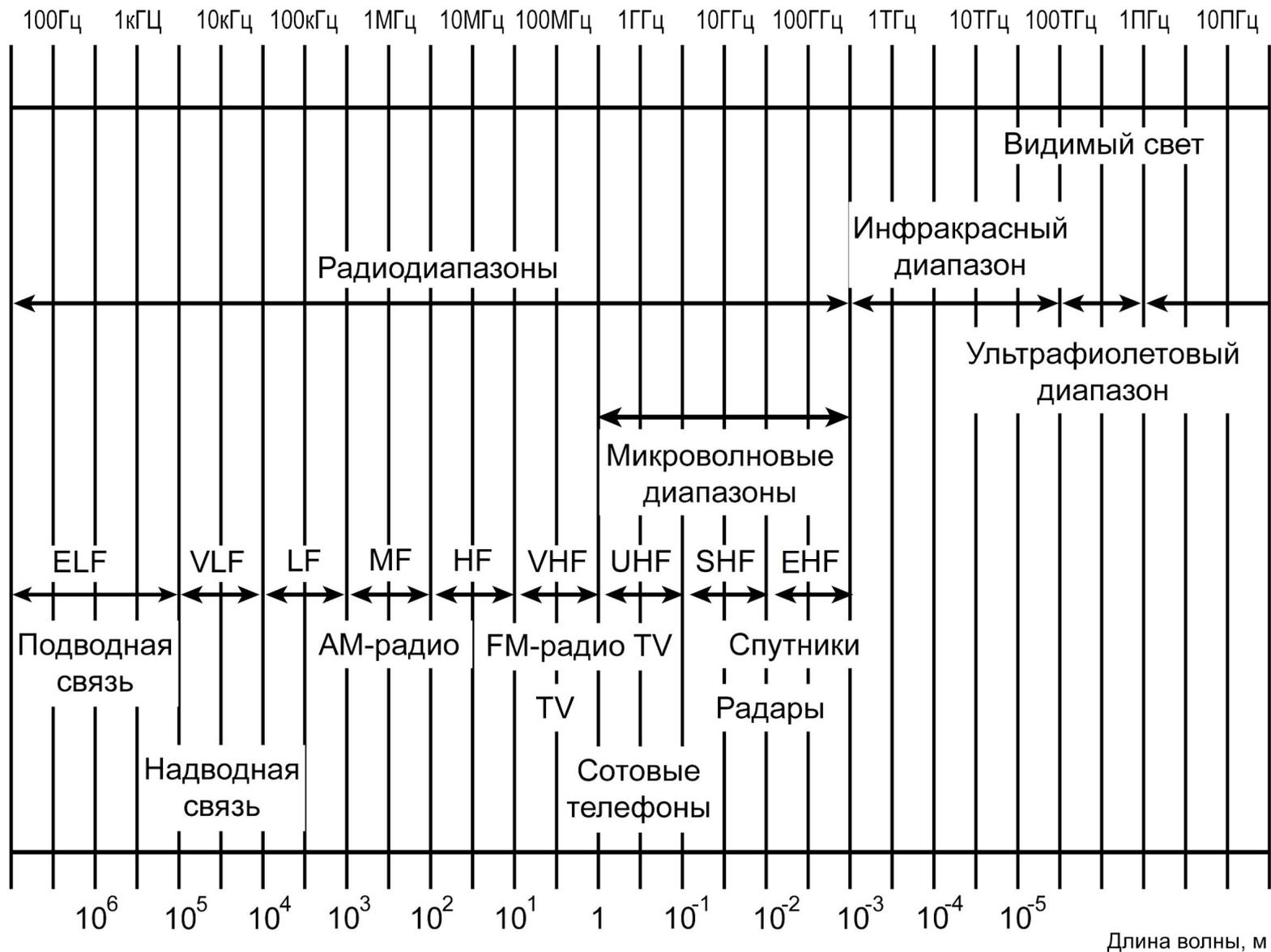
## Беспроводная среда передачи

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



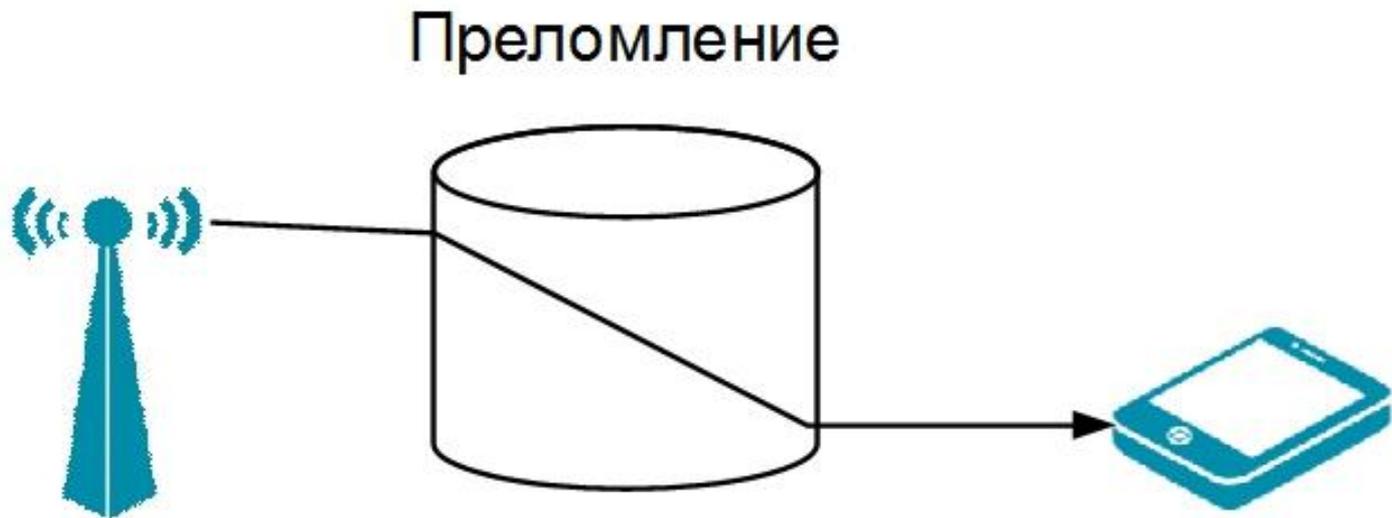
## Беспроводная среда передачи

- ❑ 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.



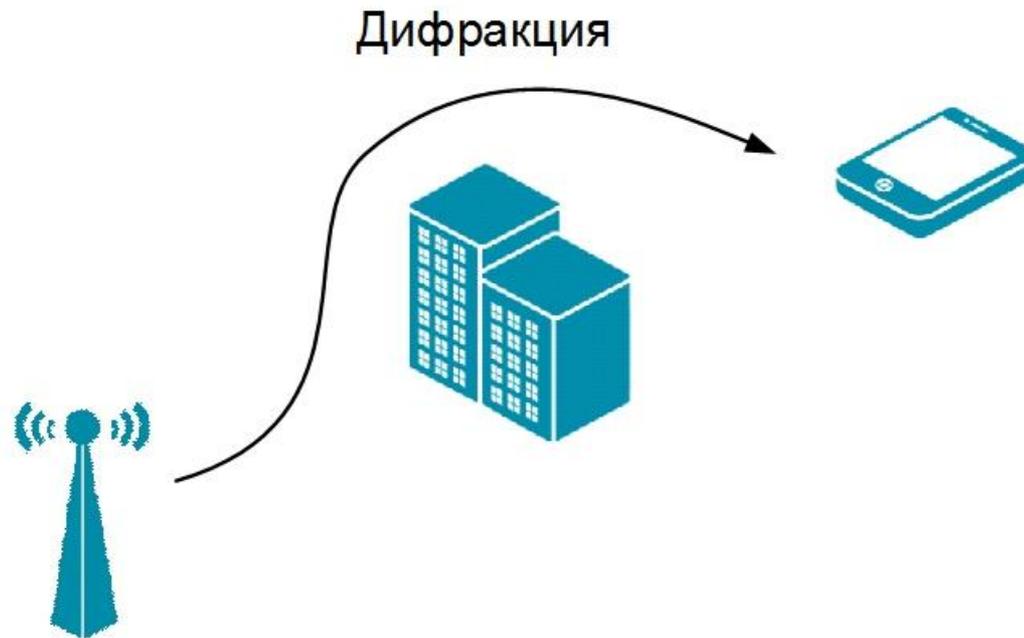
### Преломление

- 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.



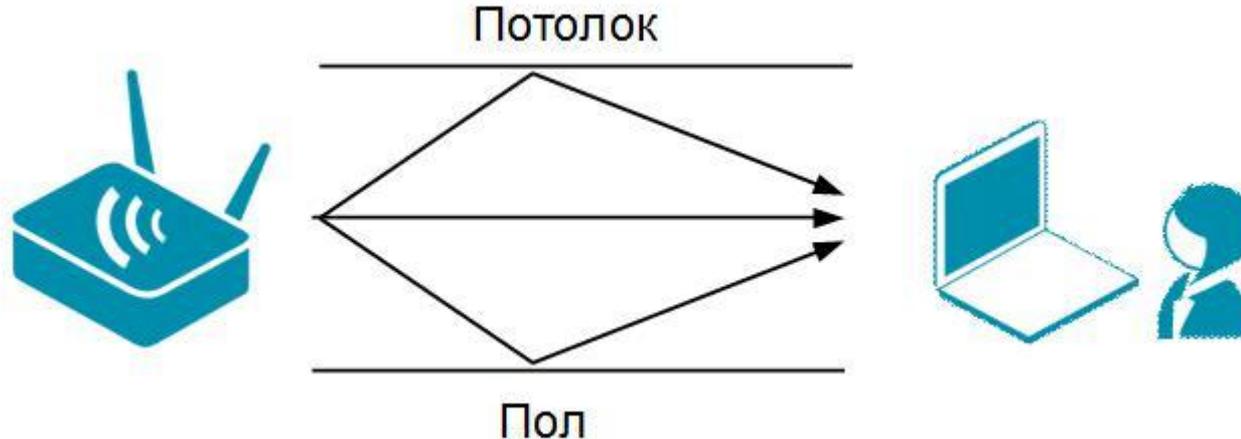
### Рассеяние

- 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).

## Беспроводная среда передачи

- ❑ **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.

## Беспроводная среда передачи

- ❑ **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!**