

Санкт-Петербургский государственный университет  
информационных технологий, механики и оптики

---

---

Кафедра проектирования компьютерных систем



В. А. Козак

Вычислительные сети

Лекция 2

# Физический уровень

Санкт-Петербург, 2009

## Физический уровень (Physical layer)

- Интерфейс между сетевым носителем и сетевым устройством (передает электрические или оптические сигналы в кабель или радиоэфир, принимает их и преобразует в биты данных);
- Имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи;
- На этом уровне стандартизируются типы разъемов и назначение контактов;
- Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети;
- Работают: концентраторы, ретрансляторы;
- Примеры сетевых интерфейсов, относящихся к физическому уровню: V.35, RS-232C, RJ-11, RJ-45 10BASE-5, 100BASE-TX.

# Типы линий связи

Линия связи состоит в общем случае из физической среды, по которой передаются информационные сигналы, аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. Синонимом термина *линия связи (line)* является термин *канал связи (channel)*.



В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на:

- проводные (воздушные);
- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.



## Типы линий связи 2

В зависимости от направления передачи данных линия (канал) связи может быть:

- *симплексной* — то есть допускающей передачу данных только в одном направлении, пример — радиотрансляция, телевидение;
- *полудуплексной* — то есть допускающей передачу данных в обоих направлениях *поочерёдно*;
- *дуплексной* — то есть допускающей передачу данных в обоих направлениях *одновременно*, пример — телефон.

# Характеристики линий связи

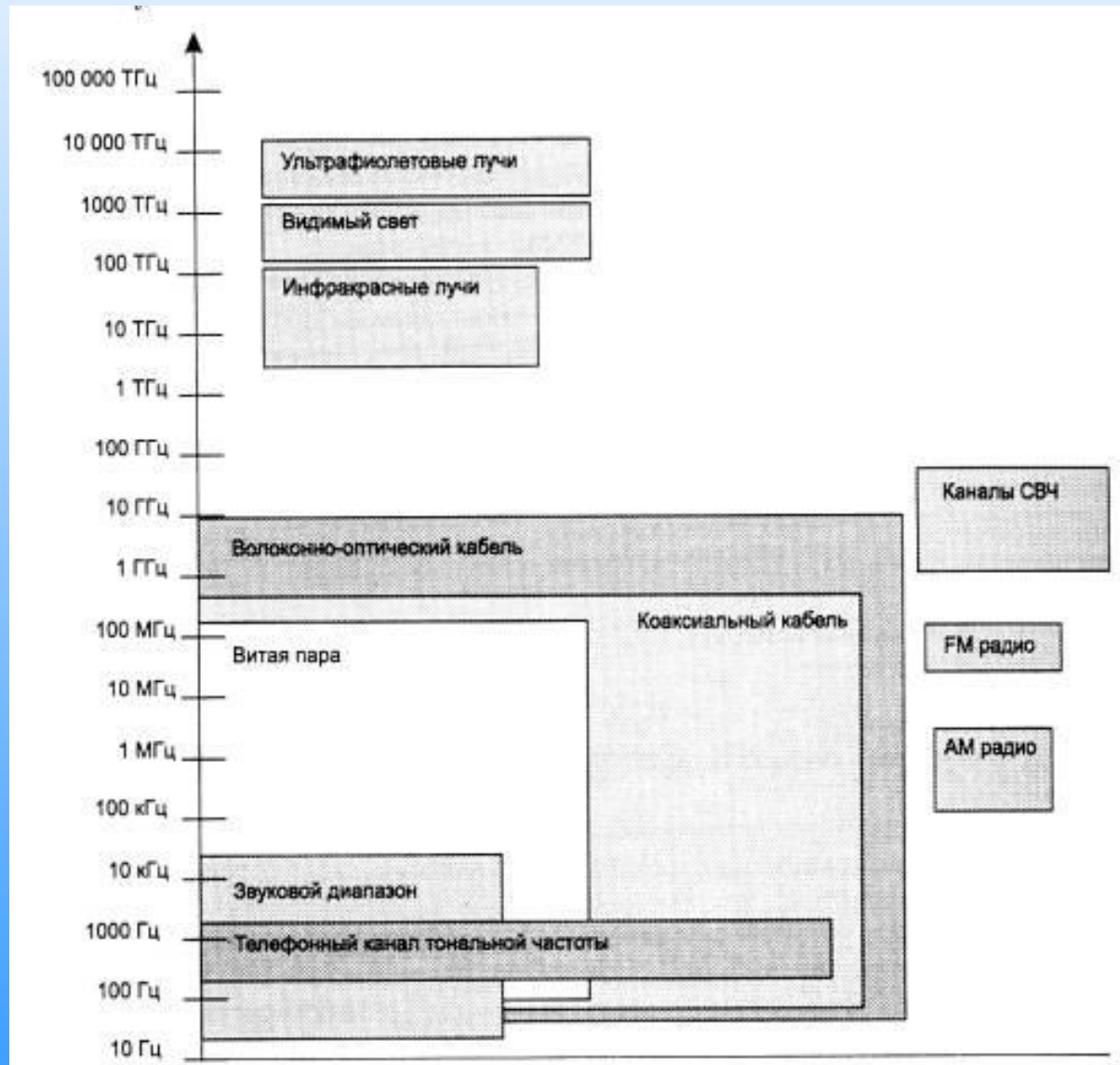
К основным характеристикам линий связи относятся:

- **амплитудно-частотная характеристика** – показывает затухание амплитуды сигнала для всех возможных частот;
- **полоса пропускания** - непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает некоторого заранее заданного предела;
- **затухание** - относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты.

$A = 10 \log_{10} P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ , (измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB),  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  – мощности входа и выхода);

- **пропускная способность** - характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи;
- **достоверность передачи данных** - вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных;
- **помехоустойчивость** - способность противостоять внешним помехам;
- **перекрестные наводки на ближнем конце линии;**
- **удельная стоимость.**

# Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны



# Связь между пропускной способностью линии и ее полосой пропускания

- Клод Шеннон установил связь между полосой пропускания линии и ее *максимально возможной пропускной способностью*, вне зависимости от принятого способа физического кодирования:

$$C = F \log_2 (1 + P_c/P_{\text{ш}}),$$

где  $C$  - максимальная пропускная способность линии в битах в секунду,  $F$  - ширина полосы пропускания линии в герцах,  $P_c$  - мощность сигнала,  $P_{\text{ш}}$  - мощность шума.

- Найквист также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = 2F \log_2(M),$$

где  $M$  - количество различных состояний информационного параметра.

Приведенные соотношения дают предельное значение пропускной способности линии, а степень приближения к этому пределу зависит от конкретных методов физического кодирования.

# Топологии физических связей

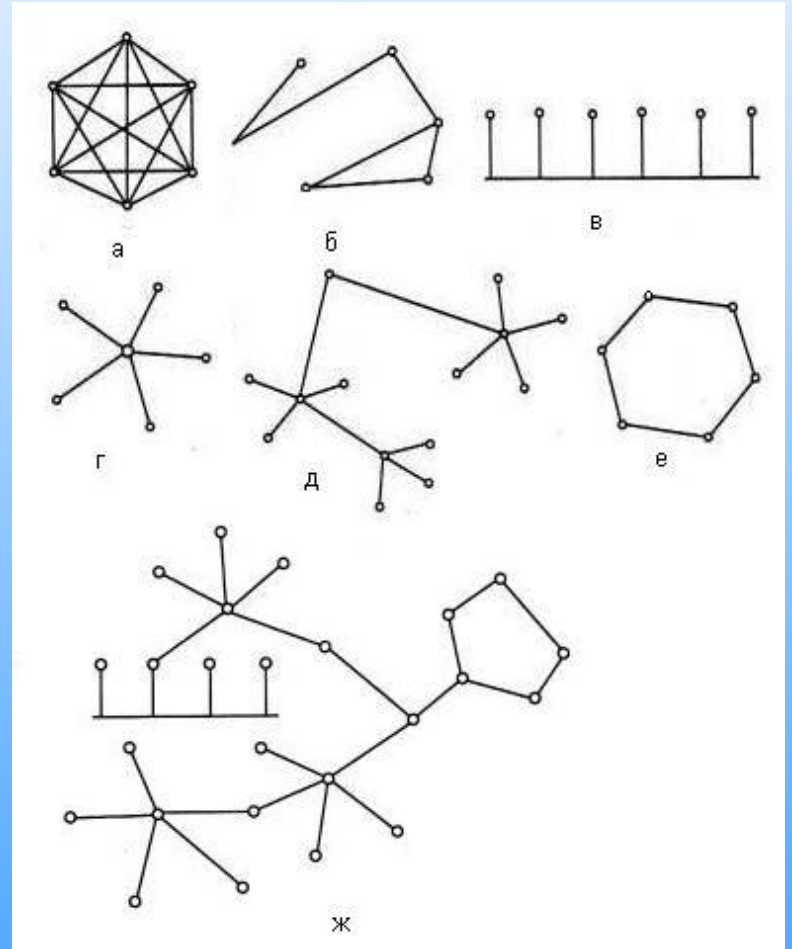
Виды топологий:

- физическая топология;
- логическая топология.

Топологии физических связей:

- полностью связная топология (а);
- ячеистая топология (б);
- общая шина (в);
- звезда (г);
- иерархическая звезда, древовидная топология (д);
- кольцо (е);
- смешанная топология (ж).

Домен коллизий (*Collision domain*) - сегмент сети, имеющий общий физический уровень, в котором доступ к среде передачи может получать только один абонент одновременно.





# Разделение (уплотнение) каналов

**Мультиплексирование** (англ. *multiplexing, muxing*) — уплотнение канала - передача нескольких потоков (каналов) данных с меньшей скоростью (пропускной способностью) по одному каналу, обладающему большей пропускной способностью.

Различают:

- частотное разделение каналов (ЧРК, FDM) — разделение каналов по частоте, каждому каналу выделяется определённый диапазон частот;
- временное разделение каналов (ВРК, TDM) — разделение каналов во времени, каждому каналу выделяется квант времени (таймслот);
- кодовое разделение каналов (КРК, CDM) — разделение каналов по кодам, каждый канал имеет свой код наложение которого на групповой сигнал позволяет выделить информацию конкретного канала.

Возможно комбинировать методы, например ЧРК+ВРК и т.п.

# Кабельные линии связи

Кабель - это изделие, состоящее из проводников, слоев экрана и изоляции. В некоторых случаях в состав кабеля входят разъемы, с помощью которых кабели присоединяются к оборудованию.

Важнейшие характеристики:

- *Затухание (Attenuation);*
- *Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT);*
- *Импеданс (волновое сопротивление)- это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи;*
- *Активное сопротивление - это сопротивление постоянному току в электрической цепи. Не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля;*
- *Емкость - это свойство металлических проводников накапливать энергию;*
- *Уровень внешнего электромагнитного излучения или электрический шум;*
- *Диаметр или площадь сечения проводника.*

# Кабели на основе витой пары

**Витая пара** (*twisted pair*) — вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой.



Цели свивания проводников:

- повышения связи проводников одной пары (электромагнитная помеха одинаково влияет на оба провода пары);
- уменьшения электромагнитных помех от внешних источников;
- уменьшения взаимных наводок при передаче дифференциальных сигналов.

# Виды кабелей на основе витой пары

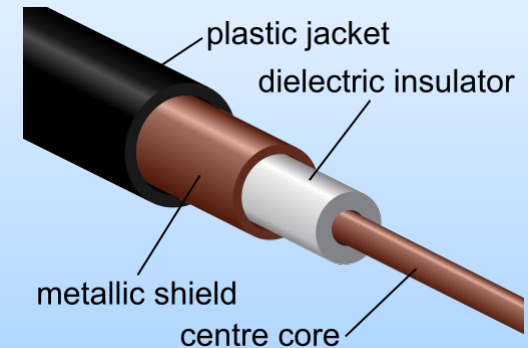
- *незащищенная витая пара* (UTP — Unshielded twisted pair) — отсутствует защитный экран вокруг отдельной пары;
- *фольгированная витая пара* (FTP — Foiled twisted pair) — также известна как F/UTP, присутствует один общий внешний экран в виде фольги;
- *защищенная витая пара* (STP — Shielded twisted pair) — присутствует защита в виде экрана для каждой пары и общий внешний экран в виде сетки;
- *фольгированная экранированная витая пара* (S/FTP — Screened Foiled twisted pair) — внешний экран из медной оплетки и каждая пара в фольгированной оплетке;
- *незащищенная экранированная витая пара* (SF/UTP — Screened Foiled Unshielded twisted pair) — двойной внешний экран из медной оплетки и фольги, каждая витая пара без защиты.

# Категории кабелей на основе витой пары

Категория	полоса пропускания	кол-во пар	пропускная способность, Мбит/с	применение
<b>CAT1</b>	0,1 МГц	1	до 1 Мбит/с	телефония, для данных необходим модем
<b>CAT2</b>	1 МГц	2	до 4 Мбит/с	иногда встречается в телефонных сетях
<b>CAT3</b>	16 МГц	2, 4	10 (10BASE-T) 100 (100BASE-T4)	подходит для передачи голоса и данных
<b>CAT4</b>	20 МГц	4	10 (10BASE-T) 100 (100BASE-T4)	практически не используется
<b>CAT5</b>	100 МГц	4	100 (100BASE-TX)	телефония, Fast Ethernet
<b>CAT5e</b>	125 МГц	4	100 (100BASE-TX) 1000 (1000BASE-TX)	Fast Ethernet и Gigabit Ethernet
<b>CAT6</b>	250 МГц	4	1000 (1000BASE-TX)	Fast Ethernet и Gigabit Ethernet
<b>CAT6A</b>	500 МГц	4	1000 (1000BASE-TX) до 10 Гбит/с	Fast Ethernet и Gigabit Ethernet
<b>CAT7</b>	700 МГц	4	до 100 Гбит/с	Fast Ethernet и Gigabit Ethernet

# Коаксиальные кабели

Коаксиальный кабель имеет внутренний проводник из меди или омеднённой стали, внутренний диэлектрик из вспененного полиэтилена и экран из фольги и, в отдельных случаях, стальной оплётки.



Кабели делятся по шкале Radio Guide. Наиболее распространённые категории кабеля:

- RG-8 и RG-11 — «Толстый Ethernet» (Thicknet), 50 Ом. Стандарт 10BASE5;
- RG-58 — «Тонкий Ethernet» (Thinnet), 50 Ом. Стандарт 10BASE2:
  - RG-58/U — сплошной центральный проводник,
  - RG-58A/U — многожильный центральный проводник,
  - RG-58C/U — военный кабель;
- RG-59 — телевизионный кабель (Broadband/Cable Television), 75 Ом. Российский аналог РК-75-х-х («радиочастотный кабель»);
- RG-6 — телевизионный кабель (Broadband/Cable Television), 75 Ом. Кабель категории RG-6 имеет несколько разновидностей, которые характеризуют его тип и материал исполнения. Российский аналог РК-75-х-х;
- RG-62 — ARCNet, 93 Ом

# Волоконно-оптические кабели

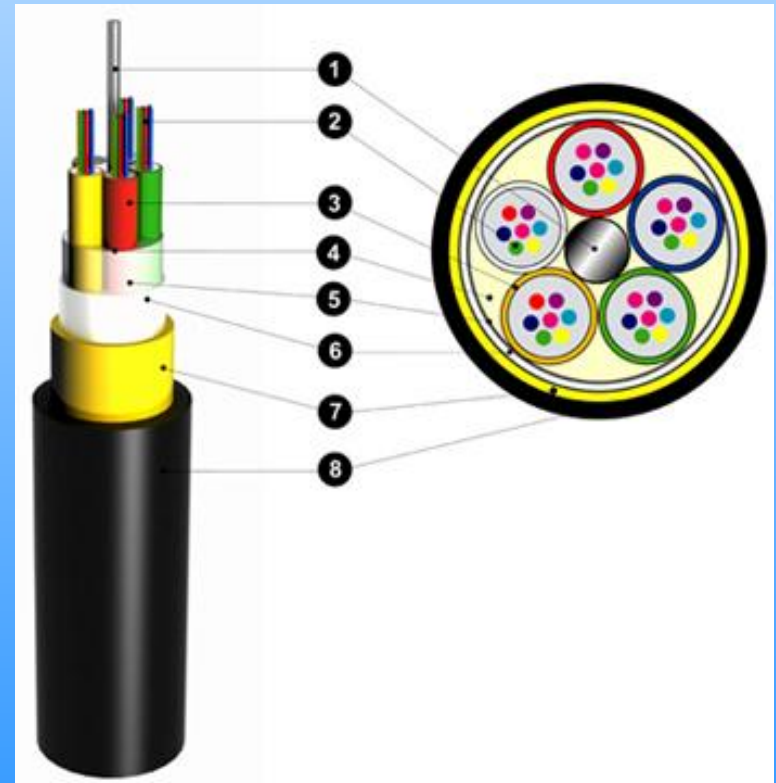
Волоконно-оптический кабель состоит из центрального проводника света (сердцевины) - стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла - оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина.

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды;
- полупроводниковые лазеры.

## Волоконно-оптический кабель с армированием

1. Центральный силовой элемент
2. Оптическое волокно
3. Оптический модуль с заполнением гидрофобным компаундом
4. Заполнение гидрофобным компаундом
5. Полиэтилентерефталатная пленка
6. Внутренняя полимерная оболочка
7. Слой армидных нитей
8. Наружная полиэтиленовая оболочка

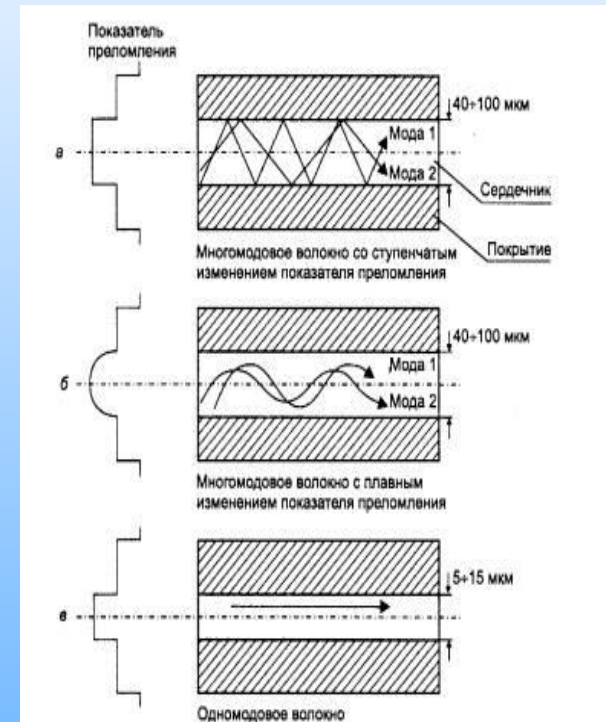


## Волоконно-оптические кабели 2

В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления;
- многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления;
- одномодовое волокно.

Популярные сочетания диаметр ядра и диаметр демпфера– 9/125 мкм, 50/125 мкм, 62.5/125 мкм и 100/140 мкм.



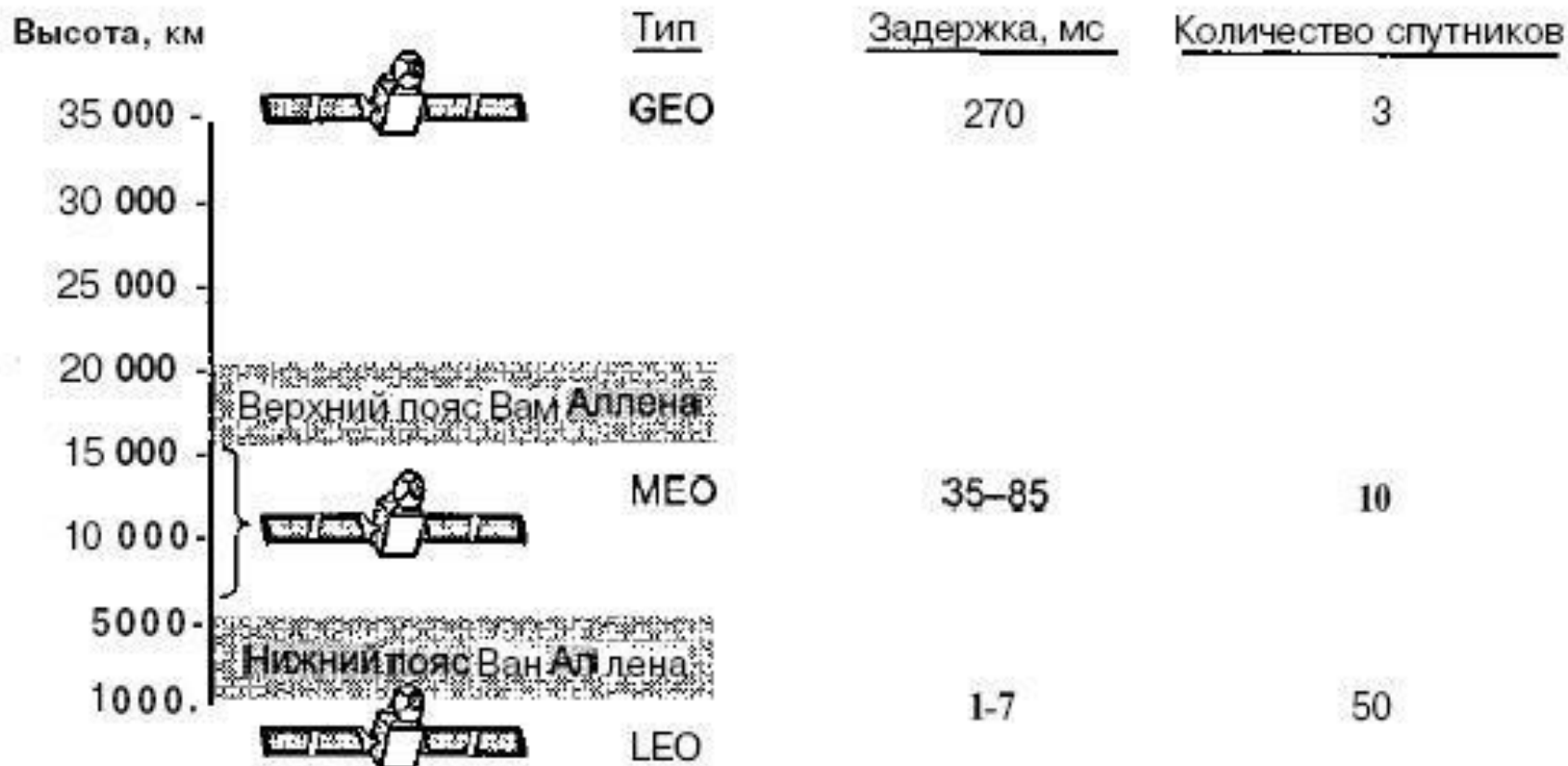


# Беспроводная связь

Виды беспроводной связи:

- КВ, СВ и ДВ (короткие, средние и длинные волны) - диапазон амплитудной модуляции (Amplitude Modulation — AM).  
Обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных;
- УКВ (ультракороткие волны) – диапазон частотной модуляции (Frequency Modulation — FM);
- СВЧ (микроволновом диапазон, частота  $> 4$  ГГц) - сигналы уже не отражаются ионосферой Земли, и для устойчивой связи требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником;
- Инфракрасные и миллиметровые волны;
- Связь в видимом диапазоне;
- Спутниковая связь.

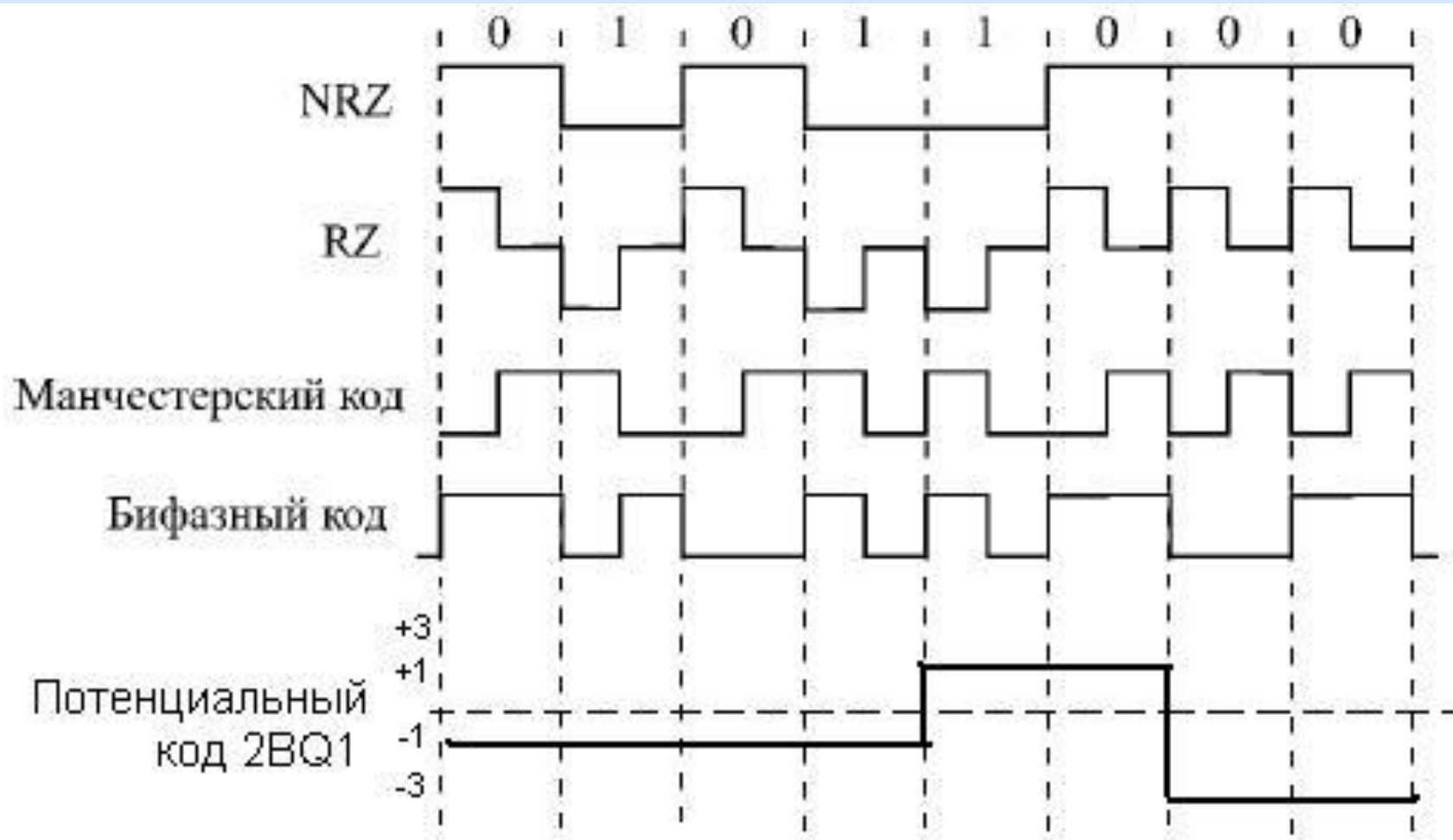
# Спутниковые орбиты



## **Физическое кодирование**

- *Физическое или линейное кодирование - представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи.*
- Любое различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала несет в себе информацию.
- Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала - частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов.
- При передаче дискретных данных применяются два вида кодирования: на основе синусоидального несущего сигнала (аналоговая модуляция) и на основе последовательности прямоугольных импульсов (цифровое кодирование).

# Импульсное (цифровое) кодирование

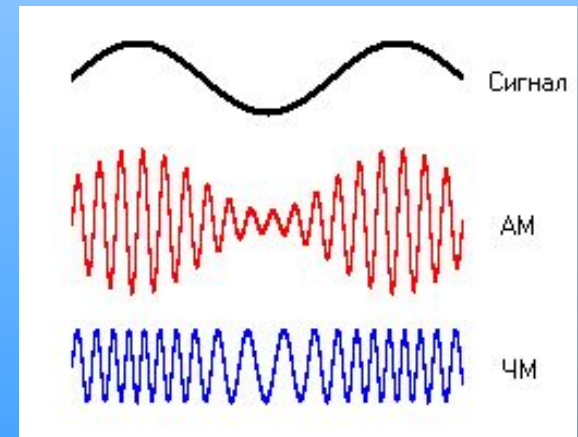
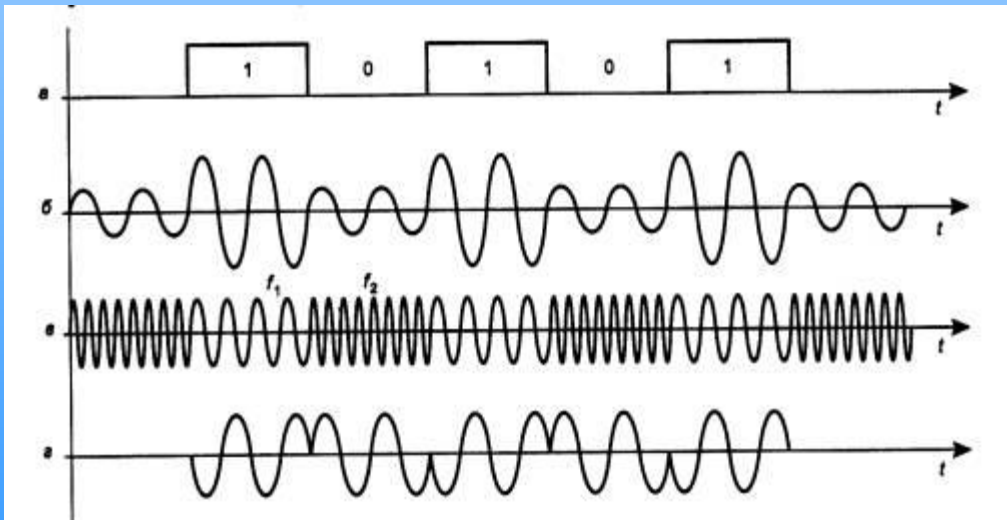


# Модуляция

Модуляция - [лат. modulatio мерность, размерность] — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного модулируемого колебания по закону информационного низкочастотного сообщения (сигнала).

Виды модуляции:

- *амплитудная модуляция (б)*
- *частотная модуляция (в)*
- *фазовая модуляция (г)*



# Логическое кодирование

Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI или 2Q1B.

Виды логического кодирования:

- Избыточные коды. Например код 4B/5B заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит. Так, в коде 4B/5B результирующие символы могут содержать 32 битовых комбинации, в то время как исходные символы - только 16. Поэтому в результирующем коде можно отобрать 16 таких комбинаций, которые не содержат большого количества нулей, а остальные считать *запрещенными кодами (code violation)*;

Исходный код	Результирующий код	Исходный код	Результирующий код
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

- Скремблирование. Методы скремблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода.

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$