

КОЛБАНЁВ МИХАИЛ ОЛЕГОВИЧ

Доктор технических наук, профессор

Основы технологий передачи сигналов

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Цель лекции:

Рассмотреть основные особенности и технологии реализации процесса передачи сигналов в инфокоммуникационных сетях.

Рассматриваемые вопросы:

1. Физика информационного взаимодействия.
2. Модели информационного взаимодействия.
3. Сообщения и сигналы. Классификации, физические характеристики и операции, обеспечивающие передачу данных.
4. Информационные характеристики сигналов.
5. Технические средства для передачи сигналов.

КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Как следует из принципов построения инфокоммуникационных систем и сетей, распространение данных предполагает реализацию трех сетевых технологий:

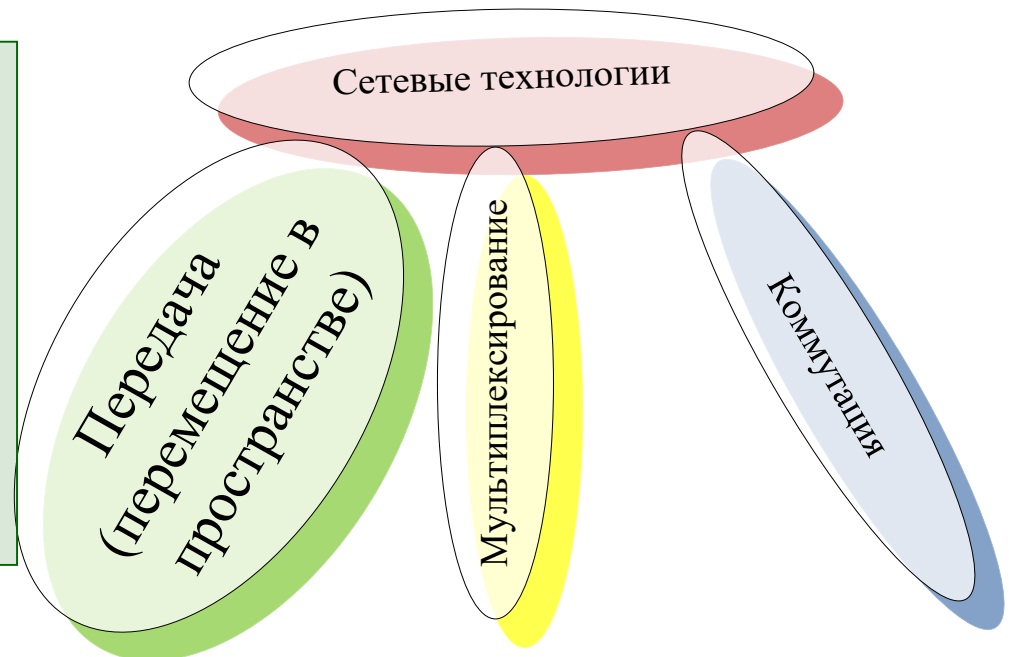
технология передачи данных обеспечивает перемещение данных в пространстве от отправителя к получателю (принцип 1);

технология мультиплексирования (уплотнения), позволяет повысить использование физических сетевых ресурсов, обеспечивающих процесс передачи (принцип 2);

технология коммутации предназначена для организации совместного использования отправителями групповых (доступных группе отправителей) сетевых ресурсов, образованных в результате мультиплексирования (принцип 3).

Информационное взаимодействие людей обеспечивается передачей (перемещением) данных от источника к получателю при помощи фундаментального физического процесса, который называется

электромагнитное взаимодействие.



1. Физика информационного взаимодействия

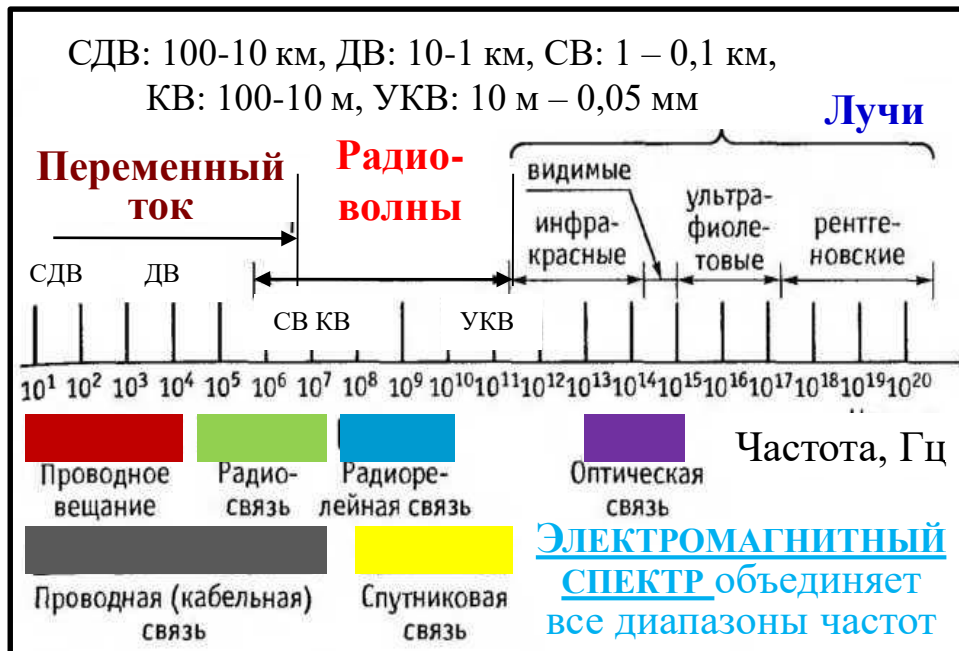
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Фундаментальные взаимодействия – это качественно различающиеся типы физического взаимодействия элементарных частиц и составленных из них тел. Сегодня известно об их 4-х видах:

гравитационное;
электромагнитное;
сильное (масштаб ~ размер атомного ядра);
слабое (проявляется на расстояниях, значительно меньших размера атомного ядра).

Современные инфокоммуникации основаны на электромагнитном взаимодействии. **Физический процесс**, при помощи которого данные распространяются в пространстве называется «электромагнитное излучение» или «сигнал электросвязи». Его параметрами являются:

ЧАСТОТА, ДЛИНА ВОЛНЫ, ЭНЕРГИЯ.



Частота f - это временной параметр, измеряется в герцах (Гц) и показывает количество изменений за одну секунду направления электрического тока в излучателе и величин электрического и магнитного полей в каждой точке пространства.

Длина волны λ является пространственным параметром, зависит от скорости v распространения волны в пространстве и рассчитывается по формуле: $\lambda = v/f$.

Энергия, которую несут электромагнитные волны, зависит от мощности излучателя и расстояния до него: поток энергии, приходящийся на единицу площади, прямо пропорционален мощности излучения и обратно пропорционален квадрату расстояния до излучателя.

ВОЗМОЖНА ЛИ СВЯЗЬ НА ОСНОВЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ?

Связь на основе гравитационного взаимодействия обладала бы привлекательными свойствами, т.к. для гипотетически существующей гравитационной волны нет преград, она способна свободно распространяться в пространстве.

Нейтрино (neutrino – нейтрончик) – нейтральная фундаментальная частица, участвующая только в гравитационном и слабом взаимодействиях, и почти не взаимодействующая с веществом. Энергия 3–10 МэВ (1-му мегаэлектронвольту соответствует масса $\sim 10^{-30}$ кг) обеспечивает нейтрино длину свободного пробега в воде порядка 10^{18} м (около 100 св. лет).



Нейтринные телескопы созданы на Кавказе и, для быстрых нейтрино, на Байкале. В Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН на расстоянии 3,5 км от входа в тоннель созданы нейтринный телескоп из 50 тонн металлического галлия, чувствительного к солнечным нейтрино, и низкофоновые лаборатории на глубине 3670 м вглубь горы (5 км водного эквивалента).



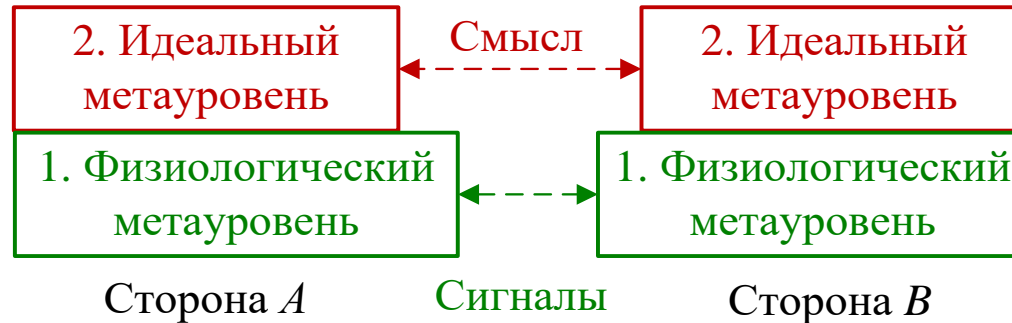
ИЗ ПУБЛИКАЦИЙ: «для организации канала связи по нейтринному лучу должно хватить потока нейтрино от искусственного источника с интенсивностью 10^{14} нейтрино в секунду. В роли приемника может выступить вода. Нейтрино, столкнувшиеся с веществом, произведут высокоэнергетические мюоны, а те, в свою очередь, вызовут в воде черенковское излучение – слабое сияние, которое могут зарегистрировать высокочувствительные фотодетекторы, например, на подводной лодке. Такой канал может обладать скоростью около 10 бит в секунду (электромагнитные технологии связи с атомными подводными лодками дают скорость до нескольких бит за несколько минут, поскольку высокочастотные колебания не проходят через толщу воды)».

2. Модели информационного взаимодействия

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Из определения информации следует, что информационное взаимодействие людей осуществляется на двух **метауровнях**.

Идеальный метауровень является продуктом мышления людей. Здесь рождается смысл, т.е. мысль, содержание некоторого высказывания.



Физиологический метауровень обеспечивает обмен материальными объектами (сигналами), кодирующими смысл.

Процессы идеального метауровня зависят от особенностей человеческого мышления и используемых языков взаимодействия – это **процессы мышления**.

Процессы физиологического (физического, материального) метауровня представляют собой последовательность операций формирования материальных объектов и зависят от физической формы информации – это **процессы обмена сигналами**.

Информационное взаимодействие людей нельзя реализовать отдельно на идеальном или отдельно на материальном метауровне. Оно всегда сопровождается процессами двух типов:

- 1) процессами мышления на идеальном метауровне и
- 2) процессами обмена сигналами на материальном метауровне.



Технологии построения инфокоммуникационных систем и сетей усиливают возможности взаимодействия на материальном метауровне

ОБЩАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ СВЯЗИ (по К. Шеннону)

Одной из первых моделей процесса информационного взаимодействия при помощи технических средств является общая схема системы связи, которая предназначена для «*точного или приближенного переноса сообщения между двумя точками пространства*».



Схема устанавливает, что в процессе переноса от передающей на приемную сторону при помощи технических средств данные должны менять представление, **получая форму сообщений и сигналов**, но во всех случаях несут один и тот же смысл, сгенерированный источником информации.

В схеме К. Шеннона предполагается электромагнитное взаимодействие, но не учитывается влияние на процесс взаимодействия ни смысла, ни физической формы представления данных: **источник информации** создает сообщение или последовательность сообщений, которые должны быть переданы на приемный конец;

передатчик некоторым образом перерабатывает сообщения в сигналы, соответствующие характеристикам канала. В процессе передачи сигнал может быть искажен шумом;

канал – это среда, используемая для передачи сигнала от передатчика к приемнику;

приемник выполняет операцию, обратную по отношению к операции передатчика, восстанавливая сообщение по сигналам, и передает его адресату;

адресат – получатель адресованной ему информации источника.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

К. Шеннон выделил 3 типа информационных объектов, используемых для организации информационного взаимодействия:
сообщения, данные и сигналы.

Все эти объекты несут один и тот же смысл, созданный источником.

Сообщение – это данные в виде **кодовой последовательности знаков языка взаимодействия**, созданные источником. Главное в сообщении – это то, что оно несет смысл, закодированный на языке, который понятен коммуникантам, но сам смысл никак не влияет на свойства сообщения и остается за пределами схемы К. Шеннона.



Данные – это обобщенное обозначение для любой информации, представленной в материальной (электромагнитной, цифровой) форме. Если абстрагироваться от смысла сообщения, то оно представляет собой данные информационного взаимодействия, и, наоборот, данные превращаются в сообщение только для такого человека, который понимает заложенный в них смысл.

Сигнал – это те же данные, но имеющие физическую форму, обеспечивающую их перемещение от источника к получателю при помощи физической среды взаимодействия. Сигнал – это носитель (переносчик) сообщения в физическом пространстве.

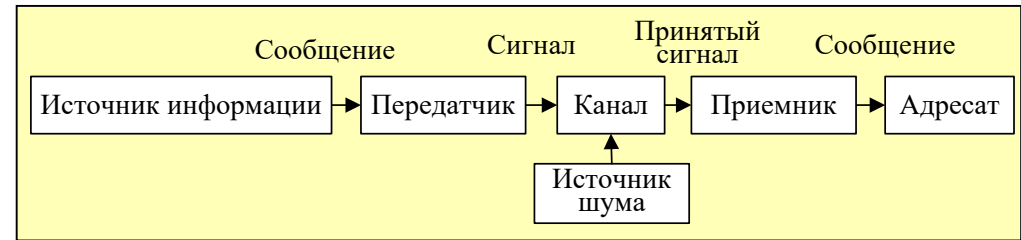
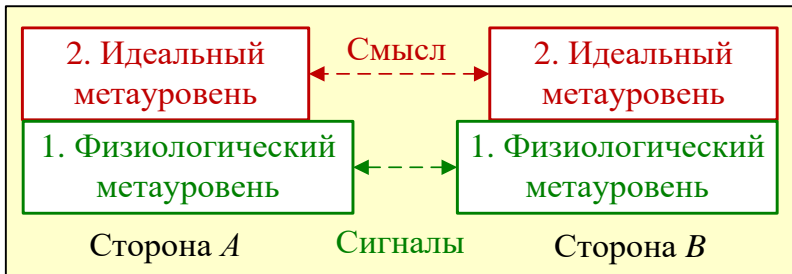


ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

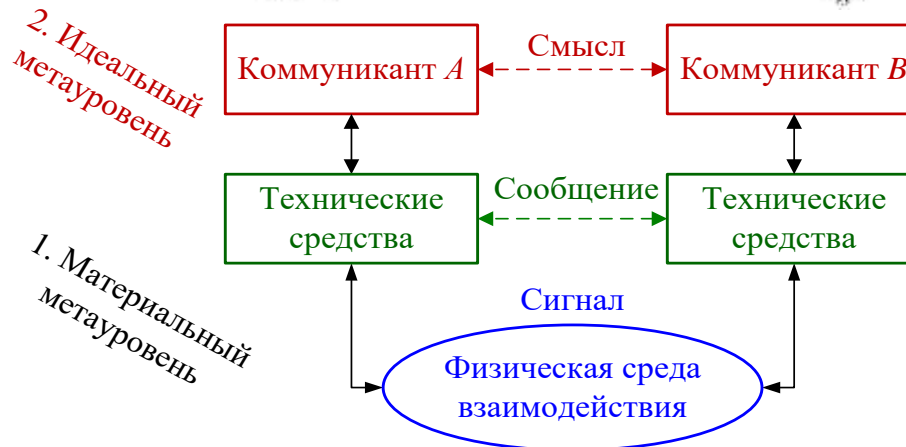
Если объединить:

- 1) двухуровневую модель информационного взаимодействия людей,
- 2) схему технической системы связи К. Шеннона,

и обобщить функции источника/адресата, передатчика/приемника и канала связи, то получим **обобщенную модель информационного взаимодействия людей при помощи технических средств**.



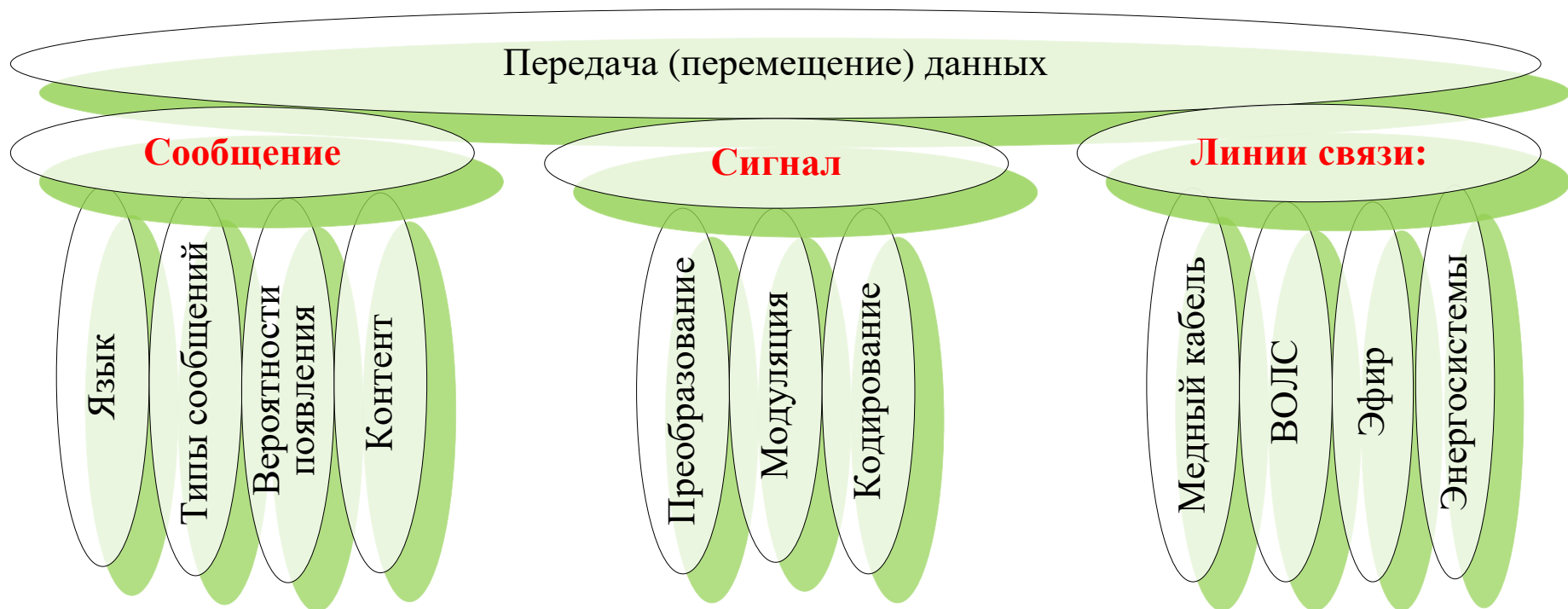
Физическая среда переносит данные в пространстве, времени и меняет физическое представление данных.



Эта обобщенная модель дает возможность исследовать не только системы связи, но и инфокоммуникационные системы и сети, которые **и хранят, и распространяют, и обрабатывают** данные.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

вытекают из обобщенной модели информационного взаимодействия



Главные проблемы процесса передачи:

- 1) как управлять сообщениями?** (Теория информации. Шеннон. Хартли. Харкевич... Семиотика – наука о языках представления информации. Семантика. Синтаксис. Прагматика).
- 2) как преобразовать сообщение в сигнал?** (Инженерные науки. Исторические изобретения. Телеграф, телефон, радио, ТВ и т.д. Шиллинг. Морзе. Белл. Попов, Зворыкин ...).
- 3) как при помощи технических средств построить линии и каналы связи для передачи сигналов?** (Отрасль народного хозяйства, заводы, строительство, очень много денег. Примерно 2/3 стоимости сетей связи – это стоимость линейных сооружений.).

3. Сообщения и сигналы. Классификации, физические характеристики, операции, обеспечивающие передачу данных

СООБЩЕНИЕ

представляет в сети смысл, созданный источником в виде последовательности знаков языка — живой речи, текста, цифрового файла, изображения, запаха и др. или их композиции (мультимедиа).

Сообщение несет смысл, закодированный на **языке**, который понятен адресату.

Язык — это набор знаков и связей между знаками, для которых существуют правила смысловой интерпретации, позволяющие передавать смысл. В качестве знака может выступать любой материальный объект, который обозначает (замещает, представляет) другой материальный объект, называемый значением знака.

Жесткий язык — это жестко детерминированная знаковая система, безусловным образом связывающая знаки с передаваемой информацией (языки программирования, генетики, дорожных знаков и др.).



Лежать!



Стоять!

Жесткий язык жестов передает информацию (**команды**) от кинолога к собаке.

Мягкий язык — это знаковая система, в которой каждому знаку соответствует целое поле смысловых значений, реализуемых с разной вероятностью (языки музыки, поэзии, человеческого общения и др.).

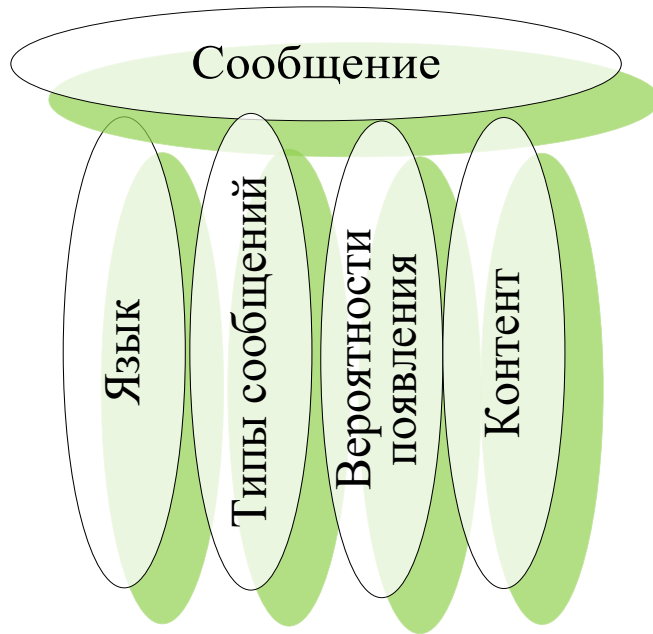


Мягкий язык музыки передает информацию (**образы и ощущения**) от музыканта к публике.

Публика
интеллектуальной
собаки?
Компьютер
интеллектуальной
собаки?

Сообщение — это последовательность материальных объектов — знаков языка взаимодействия.

СООБЩЕНИЯ В ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ К. ШЕННОНА



В теории информации не учитывается смысл сообщений и поведение источников сообщений задается статистически. Считаются заранее известными:

- 1) полный набор допустимых сообщений и их типов,
- 2) априорные вероятности появления каждого из сообщений.

Чем больше вероятность появления сообщения, тем меньше неопределенности относительно его действительного появления и, следовательно, тем меньше информации оно несет. Если вероятность появления некоторого сообщения равна 1, то его появление достоверно и не устраняет неопределенность. Количество информации, которое несет такое сообщение, равно 0.

Сообщение в произвольное время может быть сохранено отправителем (автором) в памяти информационной системы и выбрано из памяти получателем, которому интересен смысл сообщения. ЛЮБОЕ ИНФОРМАЦИОННО ЗНАЧИМОЕ, СМЫСЛОВОЕ, СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА НАЗЫВАЕТСЯ КОНТЕНТОМ.

Контент – это смысл сообщений, от которого зависит значимость (ценность) сообщений для получателей.

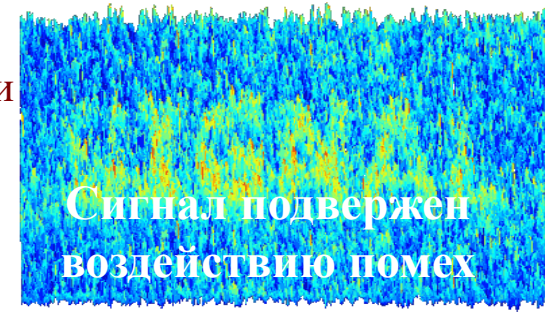
Понятие контента, в отличие от сообщения, прямо указывает на наличие смысла.



и др.

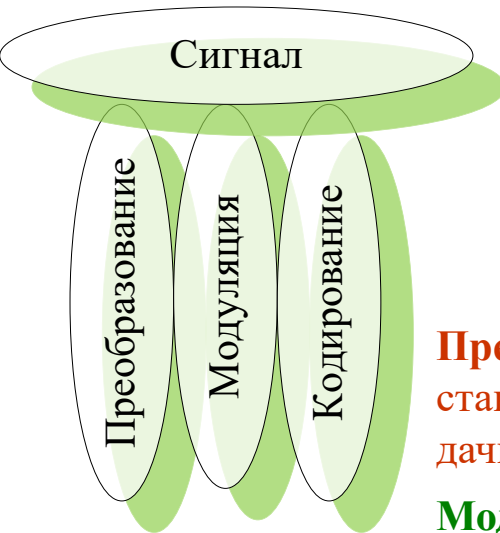
СИГНАЛ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Сигнал электросвязи – это электромагнитное колебание, при помощи которого знаки сообщения передаются от источника к получателю по каналу связи. В качестве сигналов могут выступать электрический ток, звуковые, световые, электромагнитные волны и др.



Два главных неотъемлемых свойства сигнала:

- 1) его **физические параметры** согласованы с физическими свойствами среды распространения,
- 2) его **информационные состояния** согласованы с состояниями (знаками) сообщения.



Для преобразования сообщения в сигнал независимыми устройствами или одним совмещенным устройством должны быть реализованы 3 операции:

преобразование	↔	восстановление,
модуляция	↔	демодуляция,
кодирование	↔	декодирование.

Преобразование – это операция изменения вида физической величины, представляющей сообщение, таким образом, чтобы создать условия для его передачи по каналу связи.

Модуляция – это операция изменения параметров электромагнитного колебания в соответствии с передаваемым сообщением. Колебание, выполняющее роль переносчика данных, называется **несущей**, изменяемые параметры несущей – **информационными**, а устройство, реализующее операции модуляции/демодуляции, – **модем**.

Кодирование определяет физическую и математическую стороны превращения сообщения в сигнал, это процедура изменения сигнала для улучшения условий его доставки. Различают статистическое, помехоустойчивое, криптографическое и др. виды математического кодирования.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

К основным физическим параметрам сигналов электросвязи относятся:

- **длительность** – это интервал времени, в течении которого сигнал существует;
- **ширина спектра** – это диапазон частот, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала;
- **динамический диапазон** – это отношение в децибелах наибольшей мгновенной мощности сигнала к наименьшей мощности, которая необходима для обеспечения заданного качества передачи.

Децибел – логарифмическая единица уровней, затуханий и усилений сигнала, вычисляемая:

$$A_{dB} = 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0}, \text{ где}$$

A_{dB} – величина динамического диапазона в децибелах,
 A – измеренный уровень сигнала,
 A_0 – уровень, принятый за базис.

Аналоговые сигналы электросвязи определены в непрерывном времени на непрерывном отрезке значений энергии (амплитуды, уровня) сигнала.

Дискретные по времени сигналы задаются непрерывными значениями уровня только в отдельных точках оси времени.

Дискретные (квантованные) по уровню сигналы заданы на конечном множестве значений уровней сигнала.

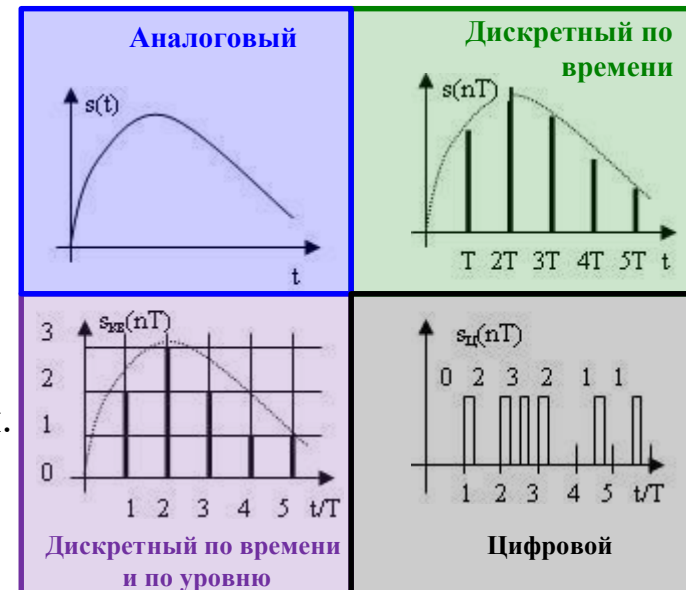
Дискретными и по времени, и по уровню сигналы имеют отдельные значения уровня в отдельных точках оси времени.

Цифровые сигналы можно описать последовательностью чисел.

По степени предсказуемости сигналы бывают **детерминированными** (эталонными), у которых все параметры заранее известны, и **случайные**, у которых хотя бы один из параметров

заранее не может быть в точности предсказан. Переносчиками сообщений, содержащих информацию, являются только случайные сигналы.

Зависимости энергии (амплитуды) сигнала от времени



СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

зависит от частоты сигнала и свойств среды распространения.

Чему равна
скорость волны на
воде?

Эту скорость надо учитывать при проектировании
инфокоммуникационных систем и сетей.

Радиоволны распространяются со скоростью
близкой к скорости света
($c = 299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с в вакууме).

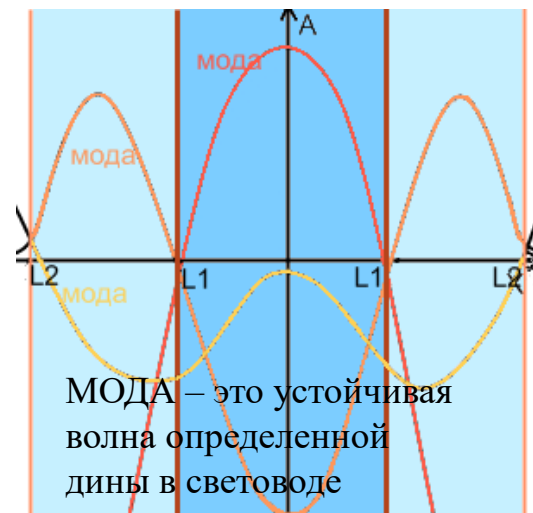
Гравитационная волна —
важное предсказание
общей теории
относительности

Номинальная скорость распространения сигнала **в медном кабеле** на определенной частоте называется **Nominal Velocity of Propagation (NVP)** и оценивается как процент от скорости света в вакууме. Значение NVP используется в том числе в измерительном оборудовании для определения электрической длины кабеля. Зная NVP можно измерить расстояние до точки обрыва. Значение NVP для каждого типа кабеля указывается в каталогах и спецификациях на продукцию.

Для витой пары большинства категорий NVP лежит в диапазоне от 68% до 72% от скорости света, а для улучшенных и самых высокопроизводительных кабелей (например, категории 7 и 7A) – 80%.

Для коаксиальных кабелей NVP лежит в диапазоне 60-70%, но имеются образцы со скоростью до 90% от скорости света.

Скорость распространения света **в оптическом волокне** зависит от коэффициента преломления сердечника волокна n и определяется как:
 $V = c/n$. Типичные значения коэффициента преломления материала сердечника лежат в пределах от 1,45 до 1,55.



ШИРИНА ПОЛОСЫ СИГНАЛА И СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Эти параметры
связаны
друг с другом

Ширина полосы сигнала B – это спектр частот гармоник (распределение значений частот синусоидальных колебаний), составляющих сигнал. Чем шире эта полоса, тем с большей скоростью можно передавать данные, используя сигнал.

Скорость передачи данных – это количество бит, передаваемое за одну секунду, а **пропускная способность канала C** – это максимальная скорость передачи данных, которую поддерживает канал.

На верхнем рисунке сигнал имеет в 2 раза меньшую частоту (количество изменений в единицу времени), чем на нижнем, следовательно нижний сигнал способен передавать в 2 раза больше бит данных за единицу времени.

Если при передаче двоичного сигнала отсутствуют помехи, искажающие сигнал, то справедливо следующее утверждение: **наивысшая скорость передачи данных по каналу с шириной полосы B Гц равна $2B$ бит/с** (за время, равное $1/2$ периода гармонике, можно передать один бит данных).

Если уровень сигнала в канале может принимать любое из M разных значений, то для пропускной способности канала справедлива формула Найквиста: **$C = 2B \log_2 M$** (каждую $1/2$ периода передаем одно из M возможных значений сигнала).

Широкополосный сигнал позволяет передавать данные на высокой скорости. Ограничивающими факторами являются: пропускная способность канала (т.е. свойства среды передачи сигнала) и помехи, искажающие сигнал.

СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ

Кроме представления сигналов в виде зависимости амплитуды от времени в теории передачи сигналов используется его описание функциями частоты.

Такое представление возможно, т.к. сигнал любой сложности можно представить в виде суммы гармонических (синусоидальных) колебаний, каждое из которых характеризуется амплитудой, фазой и частотой.

Совокупность таких гармонических колебаний называется частотным спектром сигнала.

Спектр амплитуд называется **амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)** сигнала, спектр фазовых углов – **фазо-частотной характеристикой (ФЧХ)** сигнала.

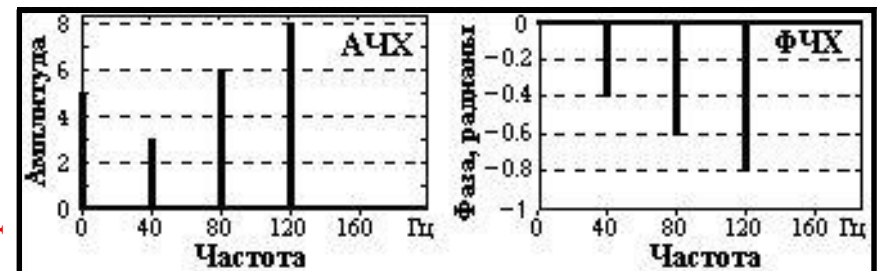
Описание частотного спектра отображает сигнал так же однозначно, как и описание в виде функций времени, но аргументом представления является частота – величина обратная времени.



Этот сигнал $S(t)$ является суммой постоянной составляющей (с частотой $f_0 = 0$) и трех гармонических колебаний:

$$S(t) = \sum_{i=0}^3 A_i \cos(2\pi f_i t + \varphi_i), \text{ где } A_i = \{3, 5, 6, 8\}, \\ f_i = \{0, 40, 80, 120\}, \varphi_i = \{0, -0.4, -0.6, -0.8\}, \\ i = 0, \dots, 3.$$

Сигнал справа является
аналоговым или дискретным?



Это тот же сигнал $S(t)$ в частотном представлении. Поскольку $S(t)$ имеет в своем спектре всего 4 гармоники, то частотное представление составляет всего восемь отсчетов и заметно компактней непрерывного временного представления, которое определено в интервале $-\infty \leq s(t) \leq +\infty$.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ – одна из операций формирования сигналов



Преобразование – это операция изменения вида физической величины, представляющей сообщение, таким образом, чтобы создать условия для его передачи по каналу связи.

Преобразование предполагает изменение физической формы представления данных.

Для электросвязи наибольшее значение имеют:
электрозвуковые (звукоэлектрические) преобразования;
радио преобразования;
электрооптические (оптоэлектронные) преобразования и др.

ИСТОРИЧЕСКИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ



Телеграф П.Л. Шиллинга, 1832 г.

Электромеханические преобразования

Это первая реальная система электро-связи. 6 пар белых и черных «замыкателей» позволяют по 6-ти линейным проводам передавать на расстояние ток одного или другого направления и управлять направлением поворота магнитов. **Изобрел параллельную шину.**

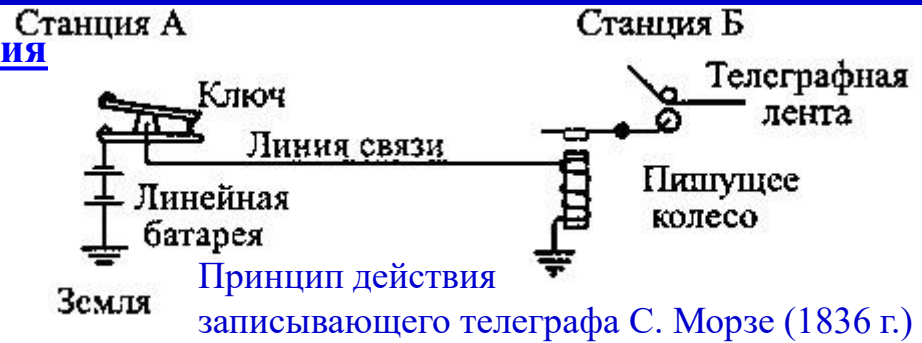


Электрическая схема

Электротекстовые (телеграфные) преобразования

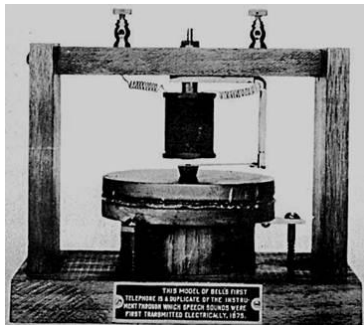
Ключ формирует электрические импульсы разной длины, а на приемной стороне эти импульсы преобразуются в точки и тире или буквы на бумажной ленте.

Изобрел дискретный сигнал.



Принцип действия записывающего телеграфа С. Морзе (1836 г.)

Первая рабочая модель телефона А. Белла (1876 г.)



Электроразвукковые (телефонные) преобразования

Преобразования звуков голоса в электрический сигнал и обратно посредством чувствительной мембраны, которая колеблется под действием звуковых волн и изменяет свойства катушки с железным сердечником, наводя в ее обмотке напряжение звуковой частоты.

Изобрел аналоговый сигнал.

Магнитопровод прикреплен гибкой пластиной к центру кожаной мембраны

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ РАДИОСВЯЗИ

В радиосвязи устройство, предназначенное для преобразования радиоволн, называется **антенна**.

Передающие антенны преобразуют энергию электромагнитного колебания, поступающего от радиопередатчика, в электромагнитную волну, распространяющуюся в пространстве.

Приемные антенны преобразуют энергию электромагнитной волны в электромагнитное колебание, поступающее в радиоприемник.

При выборе антенн должны учитываться десятки параметров:

частотный диапазон – это спектр частот, в пределах которого уровень сигнала при передаче и приеме может изменяться не более чем в два раза (на 3 дБ);

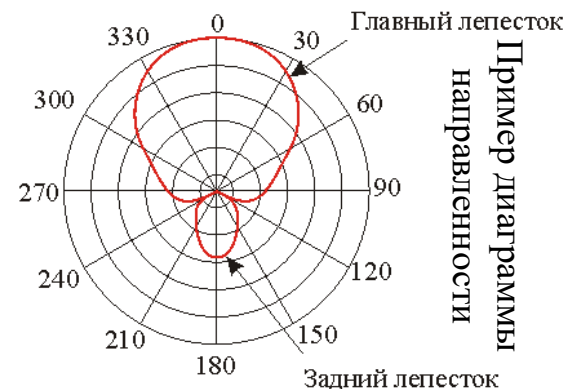
диаграмма направленности – относительная величина, показывающая уменьшение коэффициента усиления антенны при изменении направления излучения (приема);

поляризация – ориентация вектора электрического поля волны относительно поверхности земли;

коэффициент усиления – относительная величина, показывающая, насколько большую напряженность поля создаст данная антенна по сравнению с эталонной антенной и др.

Размер антенны зависит от длины волны несущей, для которой она создана. Например, для радиостанции GSM ($\sim 10^9$ Гц) – это сантиметры. Передатчик ЗЕВС работает на частоте 82 Гц (длина волны 3656 км или $\frac{1}{4}$ диаметра Земли) и вместо полноразмерной антенны использует область Земли с достаточно низкой удельной проводимостью, в которую заглублено на 2-3 км 2 больших электрода на расстоянии ~ 60 км друг от друга. Электрический ток между электродами от электрогенератора 30 МВт проникает глубоко в недра Земли, создавая огромную антенну, в то время как выходной сигнал имеет мощность всего несколько ватт, но может быть принят в любой точке земного шара любой подлодкой. Скорость передачи – три знака каждые 5-15 минут. *«ЗЕВС создает маленькие землетрясения».*

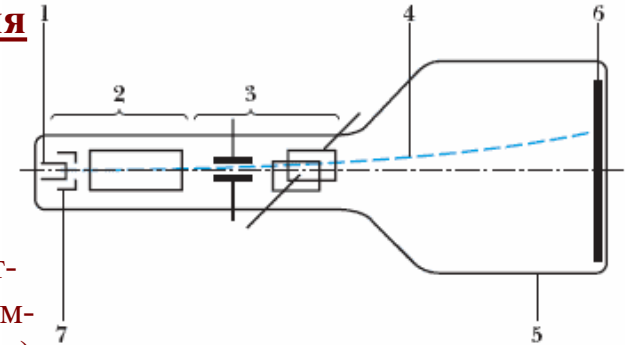
Колбанёв М.О. Основы технологий передачи сигналов.



ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В 1929 году В.К.Зворыкин Электрооптические преобразования разработал высоковакуумную телевизионную приемную трубку – кинескоп, преобразующую электрические сигналы в изображение на люминесцентном экране.

1 – катод (источник электронов); 2 – электронная пушка, формирующая электронный пучок; 3 – отклоняющие пластины; 4 – электронный пучок; 5 – вакуумно-плотный баллон; 6 – мишень (экран); 7 – управляющий электрод (модулятор)



Оптоэлектроника – это раздел электроники, в котором изучаются эффекты взаимодействия между электромагнитными волнами оптического диапазона и электронами вещества. Область приложения – создание оптоэлектронных приборов для генерации, передачи, обработки, хранения и отображения информации. На практике широко используются:

излучатели – светодиоды и лазеры;

фотоприемники – фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры;

оптроны (оптопары) – пары светодиод-фотодиод, светодиод-фототранзистор, светодиод-фототиристор;

ВОЛС – системы, содержащие волоконно-оптический световод, сочлененный с излучателем на передающей и с фотоприемником на приемной стороне.

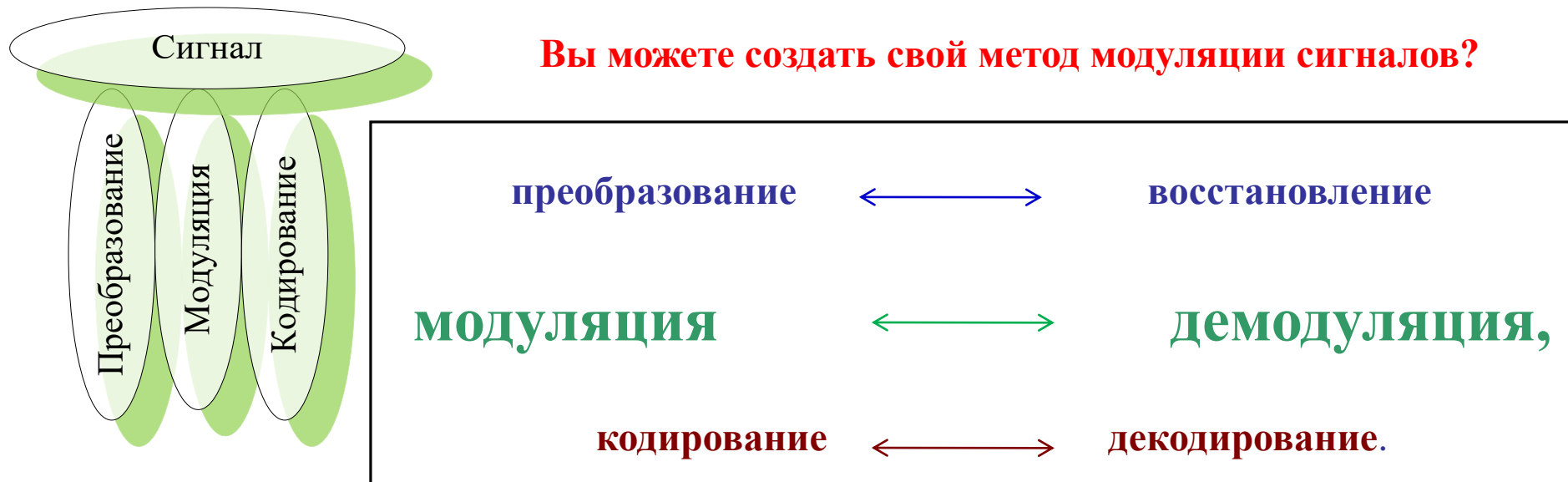
Электрооптические преобразования имеют КПД не более 10-20%. Если их осуществлять дважды, как в ВОЛС, то КПД падает до единиц процентов. Желательно создать чисто оптические системы.

Ароматэлектронные преобразования. Запах – специфическое ощущение присутствия в воздухе летучих ароматных (пахучих) веществ (ЛАВ), обнаруживаемых химическими рецепторами обоняния, расположенными в носовой полости животных и людей. **И другие преобразования ...**

Преобразование-восстановление – это одна из обязательных операций формирования сигнала.

МОДУЛЯЦИЯ – одна из операции формирования сигналов

Вы можете создать свой метод модуляции сигналов?



Модуляция – это операция изменения одного из параметров электромагнитного колебания, способного перенести в пространстве данные, содержащиеся в сообщении.

Колебание, выполняющее роль переносчика данных, называется **несущей**, изменяемый параметр несущей – **информационным параметром**, а устройство, реализующее операции модуляции/демодуляции, – это **модем**.

Методы модуляции можно разделить:

- по виду электромагнитного колебания на **аналоговую и импульсную**;
- по виду информационного параметра на **амплитудную, частотную, фазовую, кодовую и комбинированную**;
- по диапазону частот электромагнитного спектра на **проводную, радио, оптическую** и др.

АНАЛОГОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

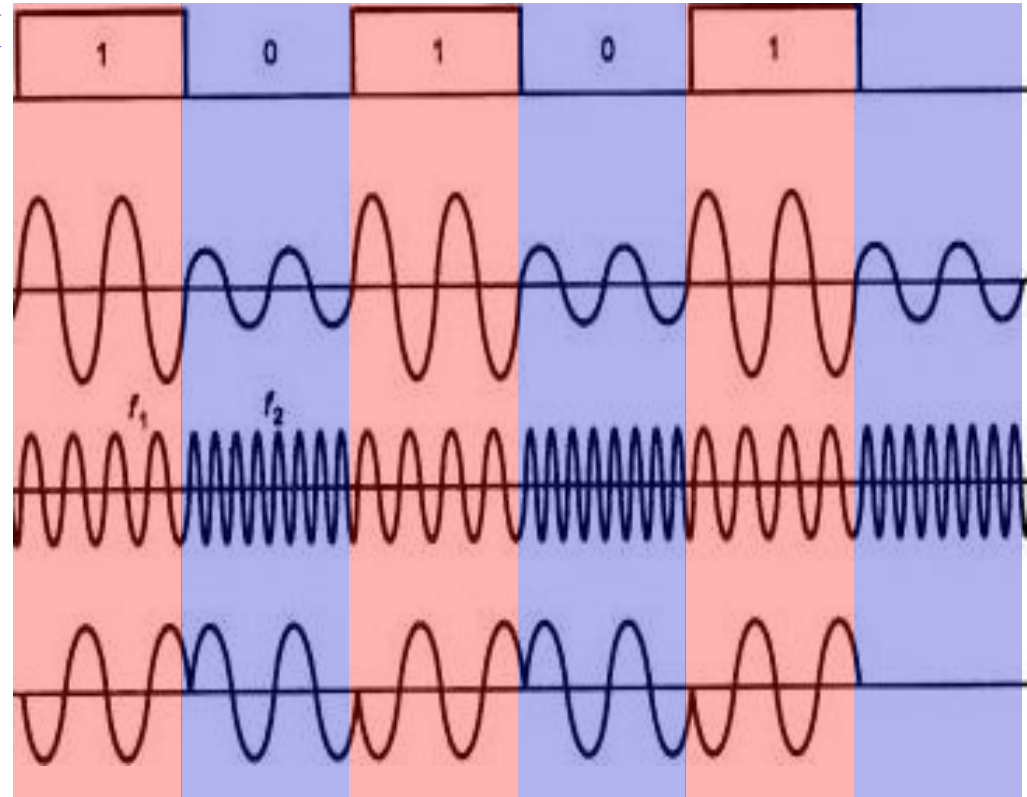
АНАЛОГОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ отображает сообщение изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального колебания несущей частоты.

При помощи аналогового сигнала, например, бинарный сигнал можно передать так.

При **АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ (АМ)** для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля – другой.

При **ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ (ЧМ)** значения данных передаются синусоидами различной частоты.

При **ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ (ФМ)** используют сигналы с различной фазой, например, 0° и 180° .



Если имеется несколько уровней амплитуды, несколько значений частот или фаз, то каждое состояние сигнала можно сопоставить нескольким бит данных.

На практике применяются модификации АМ, ЧМ и ФМ или их сочетания.

АНАЛОГОВАЯ ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

5 октября 1924 года профессор М.А. Бонч-Бруевич на научно-технической беседе в Нижегородской радиолaborатории сообщил о новом радиотелефоне, основанном на изменении частоты (периода колебаний) и продемонстрировал свое изобретение на лабораторном макете.

Частотная модуляция ЧМ (FM - Frequency modulation) – это аналоговая модуляция, при которой информационный сигнал по определенному закону управляет частотой несущего колебания.

Частота несущей д.б. выше частоты изменяющихся информационных колебаний, а амплитуда и фаза частотно-модулированного сигнала остаются неизменными.

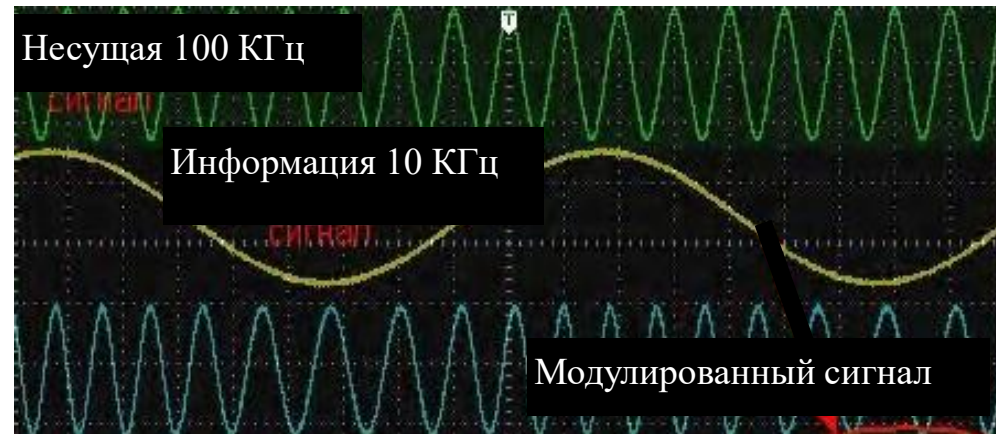
Основные характеристики частотной модуляции:

девиация частоты (frequency deviation) – наибольшее отклонение значения модулированного сигнала в герцах от значения его несущей частоты.

индекс модуляции (modulation index) – отношение девиации частоты к частоте информационного сигнала. Увеличение индекса эквивалентно увеличению мощности при амплитудной модуляции, но ведет к увеличению спектра.

Частотная модуляция отличается высокой помехозащищенностью и используется для высококачественной передачи данных в радиовещании, телевидении, радиотелефонии и др.

ЧМ-синтез – это тип аналогового синтеза звуков, при котором тембр формируется воздействием одной простой волны на другую с целью изменения ее частоты. Под воздействием частотной модуляции возникают более спектрально богатые и сложные звуки, чем при других типах синтеза. Yamaha DX7 имеет 6 тон-генераторов, которые могут быть соединены между собой 32-мя способами.



Величина девиации 50 КГц, индекс модуляции – 5



АНАЛОГОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ ПО АМПЛИТУДЕ И ФАЗЕ

Квадратурная амплитудная модуляция (Quadrature Amplitude Modulation – **QAM**) совмещает в себе аналоговые амплитудную и фазовую модуляции и способна передавать несколько бит одним символом.

Ее простейшая форма 4-QAM – кодирование **методом квадратичного фазового сдвига QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying) изменяет только фазу сигнала. Одним символом она передает $\log_2 4 = 2$ бита. По аналогии используемые формы QAM-модуляции называются **16-QAM, 64-QAM, 256-QAM** и т.д.

Наглядно модуляцию QAM представляет вектор, когда его амплитуда соответствует длине, а угол – фазе сигнала. Количество векторов задает количество гармонических сигналов с определенными амплитудой и фазой и, что тоже самое, – количество кодовых комбинации двоичных символов (каналов связи).

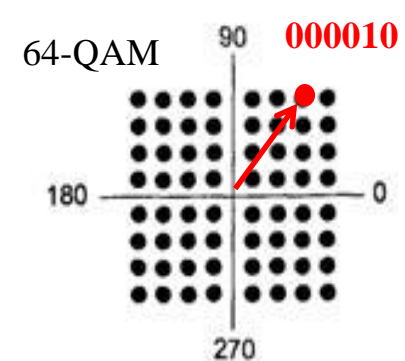
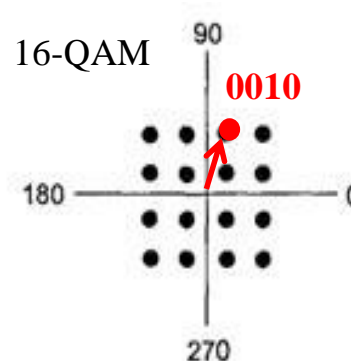
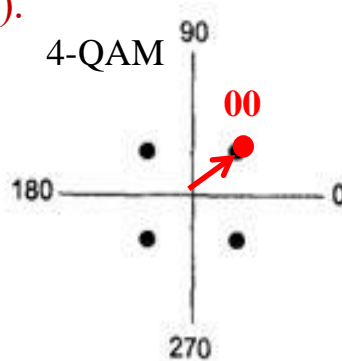
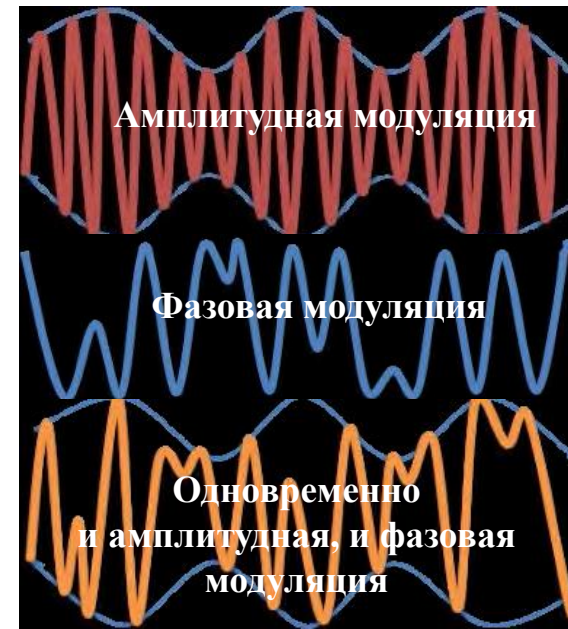
Обычно на плоскости изображают точками только концы векторов.

Чем выше номер модуляции, тем меньше уровень допустимого шума для его корректной передачи.

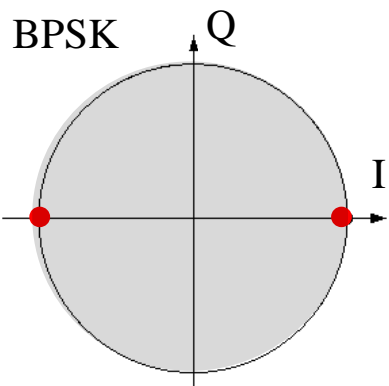
Модуляция 4-QAM допускает

примерно от 4 до 5 раз больший уровень шума, чем модуляция 64-QAM.

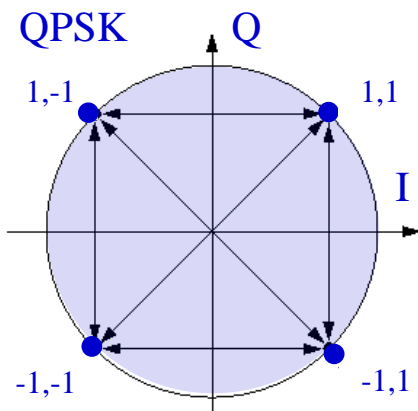
Модуляция QAM применяется, например, в технологии WiFi, в кабельном широкополосном цифровом телевидении DVB-C (Digital Video Broadcasting - cable), в модемах цифровых абонентских линий DSL, в системах цифрового радиовещания DRM (Digital Radio Mondiale) и др.



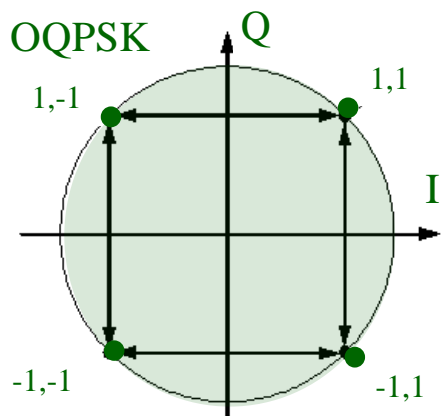
МАНИПУЛЯЦИЯ В СТАНДАРТЕ IEEE 802.15.4



Двоичная фазовая манипуляция BPSK (Binary Phase Shift Keying) отображает входной битовый поток двумя значениями фаз сигнала: 0 и 180 градусов. Символьная скорость здесь составляет 1 бит на СИМВОЛ (<http://digteh.ru/UGFSvSPS/modul/BPSK/>).



Манипуляция методом квадратичного фазового сдвига QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) использует четыре значения фаз несущего колебания: 45° , 135° , 225° и 315° . Одним символом она передает $\log_2 4 = 2$ бита. Содержимое бит выбрано таким образом, чтобы переход к соседнему состоянию фазы несущего колебания за счет ошибки приема приводил не более чем к одиночной битовой ошибке (<http://digteh.ru/UGFSvSPS/modul/QPSK/>).



При офсетной квадратурной фазовой манипуляции OQPSK переходы по квадратурам I и Q сдвинуты на половину символического интервала и в конкретно взятый момент времени только один из квадратурных битовых потоков может изменять свое значение. В результате удастся получить существенный выигрыш по коэффициенту полезного действия усилителя мощности радиопередатчика (<http://digteh.ru/UGFSvSPS/modul/OQPSK/>).

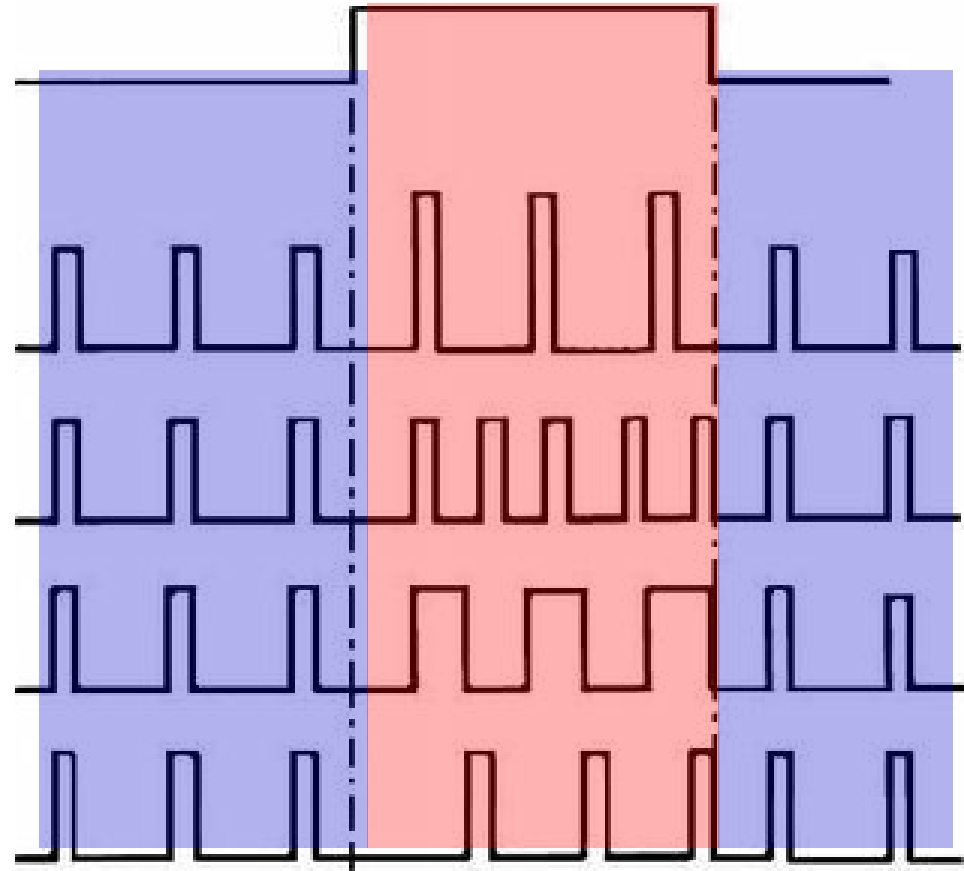
ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

При **ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ** модулирующий сигнал представлен последовательностью импульсов.

Различают 4 основных вида импульсной модуляции:

- **АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНУЮ** (изменяется амплитуда импульсов);
- **ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНУЮ** (изменяется частота следования импульсов);
- **ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНУЮ** (изменяется длительность импульсов);
- **ФАЗОВО-ИМПУЛЬСНУЮ** (изменяется фаза импульсов).

Возможны комбинации различных видов импульсной модуляции, а также сочетание аналоговой и импульсной модуляции.

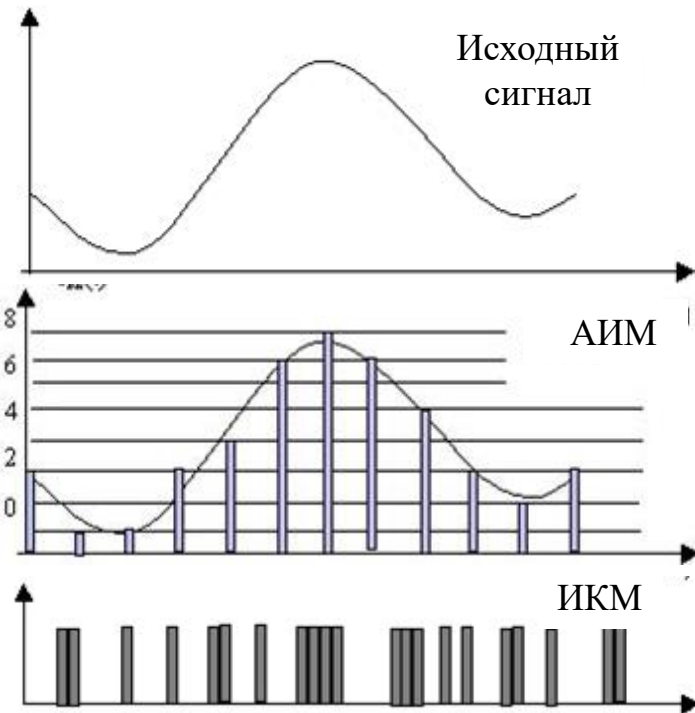


Важная характеристика метода модуляции – спектр модулированного сигнала.

Повышение достоверности доставки как правило связано с увеличением спектра.

ИМПУЛЬСНО-КODOВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Внедрение цифровых систем передачи человеческой речи началось в начале 70-х годов XX века при помощи **импульсно-кодовой модуляции (ИКМ)**.



Процесс модуляции сводится к измерению амплитуды аналогового сигнала в моменты времени, отстоящие друг от друга на такт временной дискретизации, и, затем, к кодированию этих амплитуд цифровым кодом.

Величина временного такта определяется по теореме Котельникова и для голосового трафика (4 КГц с учетом защитных интервалов между каналами) равна 8000 измерений в секунду (частота дискретизации 8 КГц, период – $1/8 = 125$ мкс).

Для квантования установлено 256 уровней амплитуды, которые кодируются при помощи 1 байта. В результате процесса квантования, аналоговые значения амплитуды, измеренные при выборке, округляются до ближайших дискретных уровней. Из-за конечного числа уровней возникает ошибка квантования, которая в большей степени влияет на сигналы ма-

ленькой амплитуды. Поэтому используется процедура неравномерного квантования или **командирования** (compression + expanding) – увеличивается число шагов квантования в области малых значений амплитуды входного сигнала.

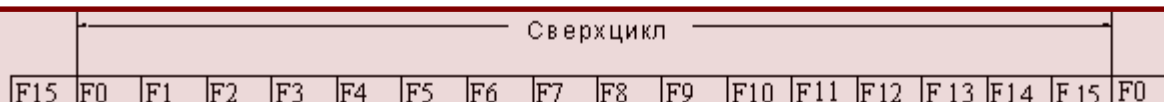
Основной цифровой канал, который формирует ИКМ, изначально предназначен для передачи голоса на скорости 64 Кбит/с и складывается из 8000 отсчетов в секунду по 8 бит на каждый отсчет.



СТРУКТУРА КАДРА ПЕРВИЧНОГО ПОТОКА ИКМ (ПОТОКА Е1)

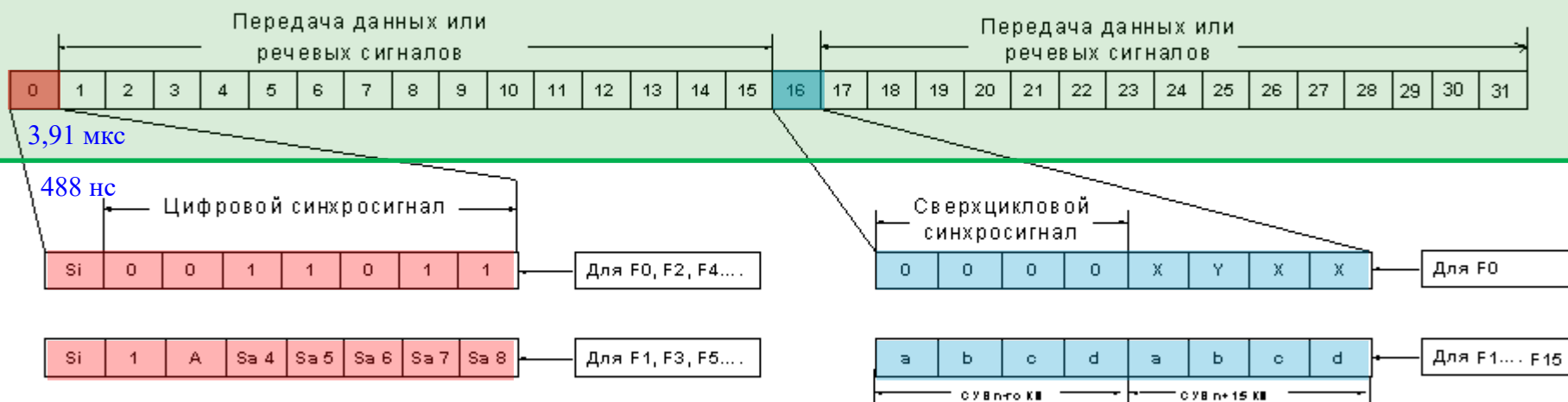
1 канал (слот) 8 бит за 125 мкс (64 кбит/с);
1 цикл (кадр) – 32 канала, 256 бит, 125 мкс;
1 сверхцикл – 16 циклов, 2048 бит, 2 мс.

Три основных варианта цикловой структуры Е1:
- неструктурированный поток (передача данных);
- цикловая структура (данные, ISDN и В-ISDN);
- цикловая и сверхцикловая структуры (для ОКС).



1 сверхцикл (мультикадр): 16 кадров * 256 бит = 2048 бит (125 мкс*16=2 мс).

1 цикл (кадр): 32 канала (слота) * 8 бит = 256 бит (1/8 кГц = 125 мкс)



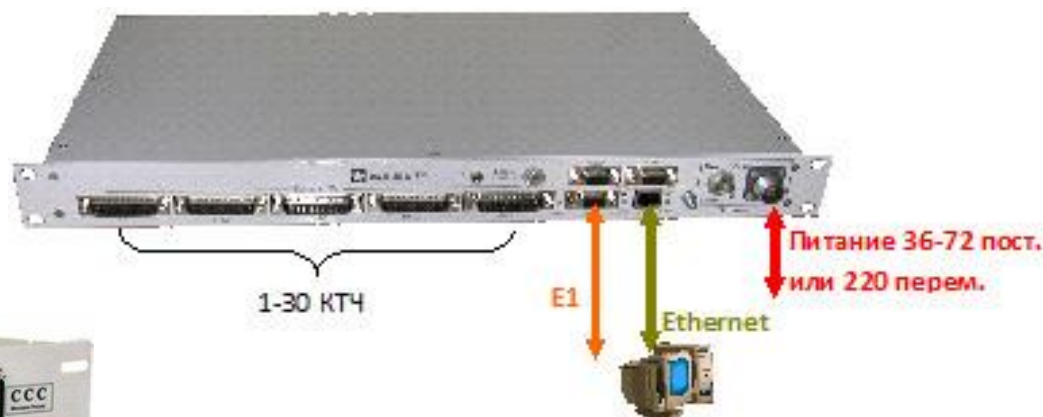
F0...F15 - номера циклов в сверхцикле;
0...31 - номера канальных интервалов;
Si - резерв;
Sa4...Sa8 - свободные биты или биты для сообщений в линиях передачи данных;
СУВ - сигналы управления и взаимодействия;
A - авария цикловой синхронизации на дальнем конце (REMT);
Y - авария сверхцикловой синхронизации на дальнем конце (MREM);

ПРИМЕР ОБОРУДОВАНИЯ ИКМ

Обычно процесс ИКМ выполняется одной интегральной схемой, называемой аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Аппаратура ИКМ-30-К-ТЧ предназначена для организации передачи по потоку E1:

- 1-30 каналов ТЧ с 2-х/4-х проводным режимом работы;
- 1-30 индукторных телефонных каналов;
- трансляция потока Eth формата 10/100Base-Tx по выделенным КИ потока E1.



Мультиплексор абонентского выноса ИКМ-6А/30

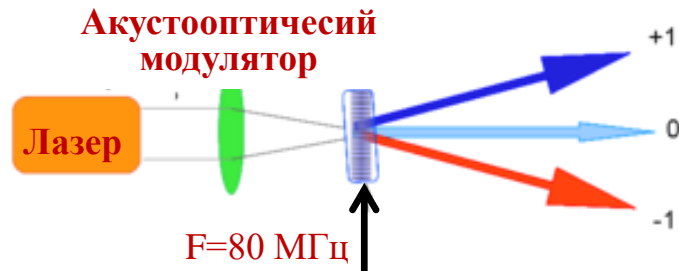
предназначен для выноса 30 абонентов и потока Ethernet по одной паре (в потоке E1).

В его состав входит оборудование линейного тракта с физическим кодированием **ТС-РАМ16** для работы по медным линиям, имеется возможность включения 4-х регенераторов. Является типовым 30-канальным абонентским модулем в составе концентраторов ИКМ-6А/60, ИКМ-6А/90, ИКМ-6А/120, ИКМ-6А/150. При этом его линейным окончанием является порт E1 по G.703 с сигнализацией 1 ВСК.

ОПТИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ

В качестве оптической несущей используют электромагнитное колебание с гармоническим законом изменения напряженности электрического поля. Информационный модулирующий сигнал может воздействовать на амплитуду, частоту и (или) фазу несущей. Кроме того, можно управлять **поляризацией оптического колебания**. Информационный сигнал может быть электрическим (ток, напряжение), акустическим, механическим и оптическим.

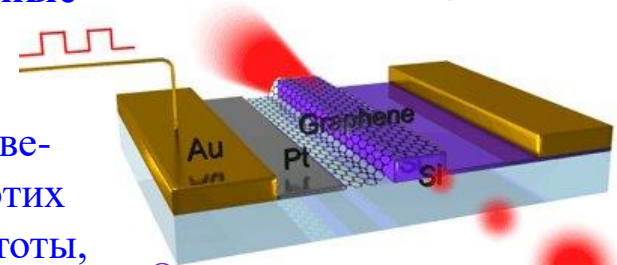
Источниками излучения в ВОЛС, как правило, являются **узкополосные одномодовые непрерывные полупроводниковые лазеры**. Они обеспечивают формирование оптической несущей с минимальной шириной спектра, способны к изменению амплитуды (мощности) световых волн, их фазы, частоты и поляризации, а также комбинации этих параметров. Изменение параметров несущей обеспечивают модуляторы, показатель преломления которых зависит от воздействия внешних электрического, магнитного или акустического полей. Такая оптическая модуляция называется внешней.



При ортогональном падении света на поверхность кристалла проходящий свет дифрагирует под воздействием ультразвука под углом в несколько дифракционных порядков

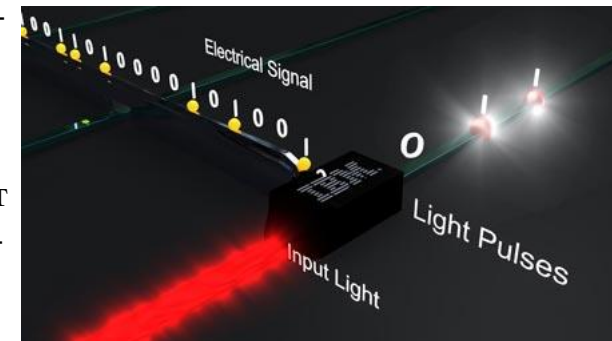
Луч лазера попадает в модулятор, который работает, как быстродействующий затвор и управляет лучом при помощи электрических сигналов. Если электрический импульс соответствует «1», то световой импульс проходит через модулятор, если же «0», то модулятор закрыт и блокирует проход светового потока. В результате электрический сигнал превращает свет в серию световых импульсов.

Принцип внешней оптической модуляции



Оптические модуляторы на основе графена теоретически способны переключать свет с частотой до 500 ГГц

Электрооптический модулятор



ПРИМЕРЫ СЕТЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ



Образцы акустооптических модуляторов

Модулятор (лат. modulator – соблюдающий ритм) – устройство, изменяющее параметры несущего сигнала в соответствии с изменениями передаваемого (информационного) сигнала.



Оптический модулятор

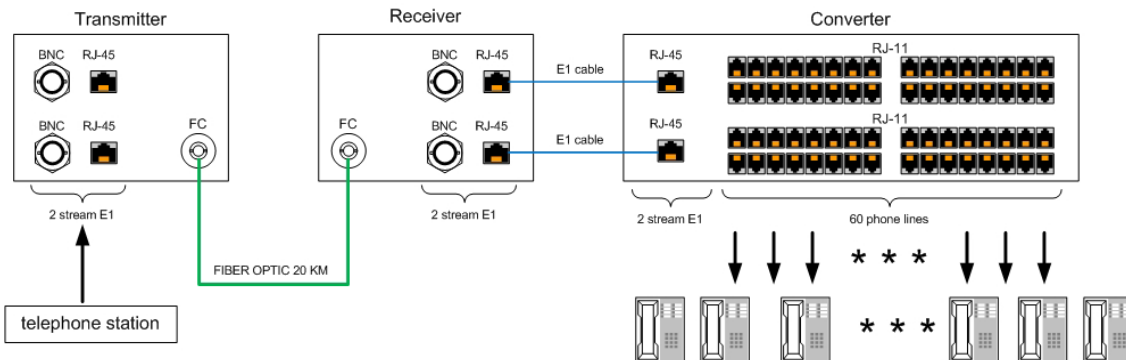


Электрооптические фазовые модуляторы

Устройство, преобразующее информационный сигнал в модулированный оптический сигнал, называется **оптический передатчик**.

Пример использования оптических приемника и передатчика для подключения телефонов удаленного офиса к корпоративной сети.

Комплект передачи телефонии по оптике



Оптический передатчик SF&T для передачи 1 канала видео HD-SDI по одному волокну одномодового оптического кабеля до 20км.



Приемопередатчики CWDM

КОДИРОВАНИЕ – одна из операций формирования сигналов



Кодирование определяет физическую и математическую стороны превращения сообщения в сигнал.

Надо различать физическое и математическое кодирование цифровых сигналов.

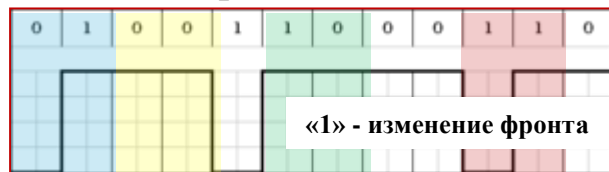
И физические, и математические преобразования сигнала осуществляются для улучшения условий его доставки.

ФИЗИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

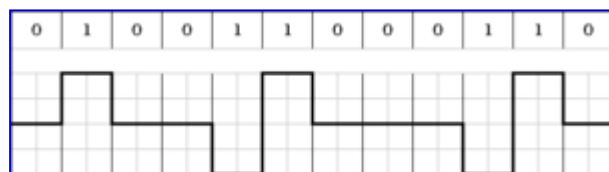
В процессе распространения данных по цифровым сетям связи на стороне источника информации каждый бит представляется электрическим импульсом, который занимает несколько состояний, соответствующие логическим «1» и «0» или их комбинации.

Логический знак может передаваться значениями **потенциала** и изменением **фронта** импульсов.

Примеры способов физического кодирования данных



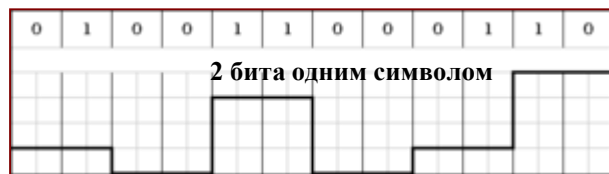
Потенциальный код NRZI



Биполярный код AMI



Манчестерское кодирование



Потенциальный код 2B1Q

Требования к методу физического кодирования:

- наименьшая ширина спектра сигнала при заданной битовой скорости;
- обеспечение синхронизации между передатчиком и приемником;
- способность противостоять помехам;
- низкое энергопотребление;
- низкая стоимость реализации.

Эти требования взаимно противоречивы.

Для передачи элементарных сигналов выделяются *строго фиксированные интервалы времени*. Их длительность задается **тактовыми импульсами**. Массив двоичных данных передается как *развернутая во времени последовательность таких импульсных дискретных сигналов*.

Для того чтобы при приеме была возможность правильно зарегистрировать всю последовательность сигналов, отправленных с передающей стороны, процессы передачи и приема должны протекать **синхронно** (от др.-греч. одновременный), т.е. совершаться в определенном порядке с неизменяемым сдвигом во времени.

Двоичные коды, реализуемые на ВОЛС, физически нельзя представить в биполярной форме и чаще других используют код NRZI.

ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ (1)

Уникальная форма аналоговых сигналов не дает возможности оценить их изменения при приеме. Цифровой сигнал можно кодировать для анализа произошедших изменений на приемной стороне.

Логическое кодирование предшествует физическому кодированию, не влияет на смысл сообщений и предназначено для изменения исходной битовой последовательности таким образом, чтобы создать условия для ее успешной передачи по каналу связи. Логическое кодирование может использоваться, например, **ДЛЯ СЛЕДУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ:**

1) **ИСКЛЮЧЕНИЕ ДЛИННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ОДИНАКОВЫХ ПО ЗНАЧЕНИЮ БИТ** при помощи избыточных кодов или скремблирования.

Избыточные коды основаны на разбиении исходной последовательности бит на группы, которые затем заменяются новым кодом, состоящим из большего количества бит таких, которые не содержат длинных цепочек одинаковых бит. Например, если исходные группы содержат 4 бита (16 комбинаций), а новые группы 5 бит (32 комбинации), то

Исходный код	Новый код	Исходный код	Новый 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

замена может быть произведена следующим образом. В новом коде 16 отобранных комбинаций не содержат больше 3 нулей или единиц, а остальные 16 – запрещены и их поступление означает об ошибке, произошедшей при передаче.

Скремблирование предполагает вычисление значения бита новой линейной битовой последовательности как функцию от текущего и предшествующих битов исходной последовательности.

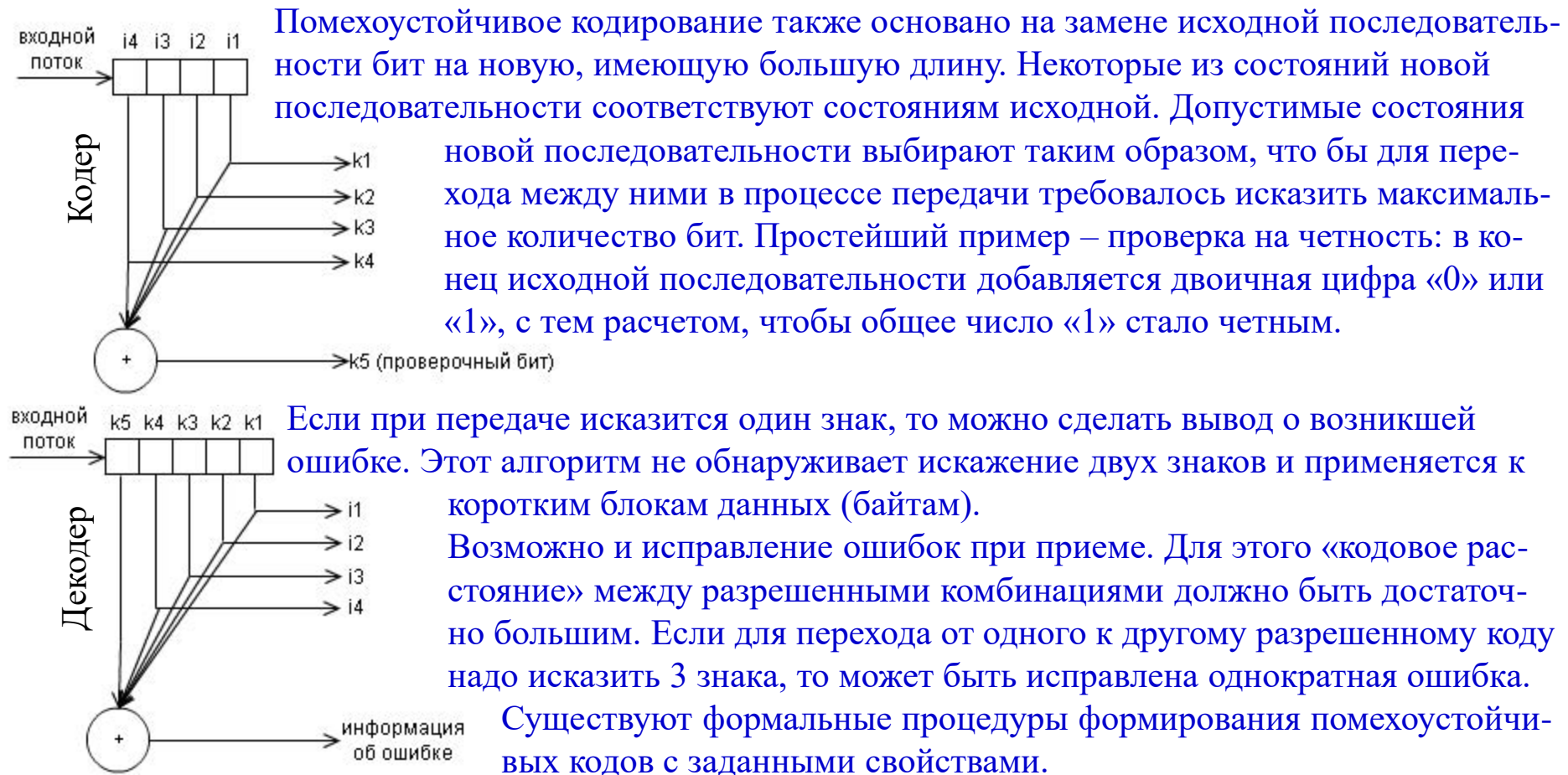
Например, скремблер может быть таким: $X_i = Y_i \oplus X_{i-3} \oplus X_{i-5}$, где X_i и Y_i – двоичные цифры нового и старого кодов, поступающих в скремблер на i -м такте. Для исходной последовательности

110110000001, например, получим на выходе скремблера последовательность **110001101111**, в которой нет цепочки из шести нулей. На приемной стороне дескремблер реализует $Y_i = X_i \oplus X_{i-3} \oplus X_{i-5}$.

ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ (2)

Логическое кодирование может использоваться, например, для следующих целей:

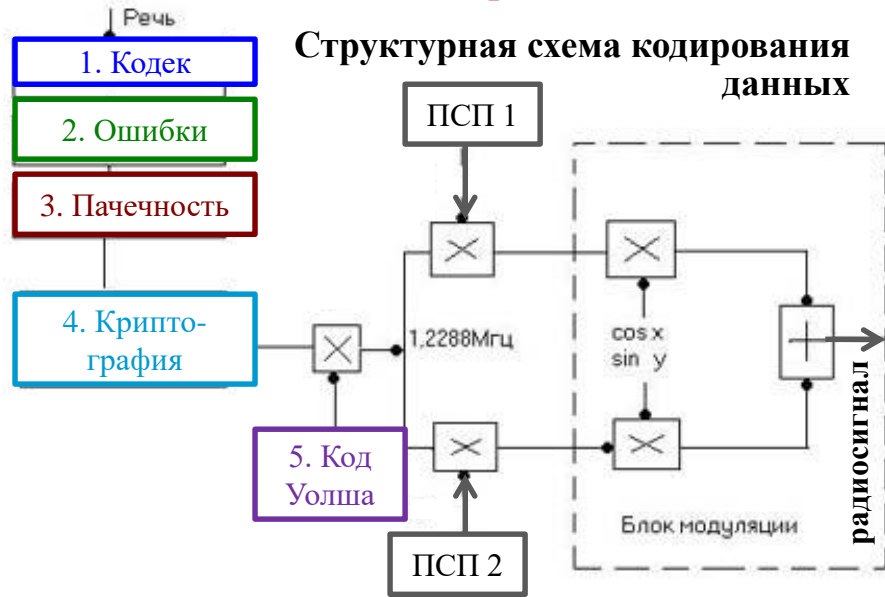
2) предоставление возможности обнаружения ошибок передачи на приемной стороне при помощи помехоустойчивого кодирования;



3) обеспечение конфиденциальности передачи данных при помощи криптографического кодирования;
4) уменьшение объема передаваемых битовых данных при помощи их компрессии (сжатия) и др.

ПРИМЕР СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ

Типичный процесс логического кодирования речевых данных в мобильной сети 2G с кодовым разделением каналов стандарта IS-95 (cdmaOne стандарт) включает следующие этапы.



1) речевой сигнал поступает на речевой кодек, оцифровывается и сжимается, например, по алгоритму CELP.

2) далее следует блок помехоустойчивого кодирования, который кодирует сигнал циклическим кодом, способным исправлять до 3-х ошибок в пакете данных.

3) затем реализуется защита от пачечных ошибок возникающих в радиоканале (от искажения нескольких бит данных подряд). Для этого поток данных записывается в матрицу по строкам, а передается в канал по столбцам. Как следствие, после прохождения через обратную матрицу на приемной стороне, пачка искаженных последовательных бит преобразуется в одиночные ошибки.

4) далее располагается блок криптографического кодирования от несанкционированного подслушивания. На данные накладывается маска длиной 42 бита. Для декодирования перехваченных в эфире данных надо либо знать маску, либо осуществить перебор всевозможных ее значений.

5) теперь данные перемножаются на код Уолша для реализации процедуры кодового разделения каналов CDMA (Code Division Multiple Access).

6) перед модуляцией блоки данных умножаются на две псевдослучайные последовательности ПСП1 и ПСП2 (**m**-последовательности), для синхронизации выходных и входных потоков.

4. Информационные характеристики сигналов

АНАЛОГОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ

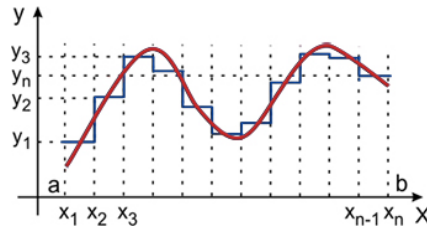
Аналоговые сигналы отражают непрерывность времени и пространства в природе и основываются на неделимости объекта как целого.

Дискретные сигналы предполагают возможность разделения объекта и во времени, и в пространстве на относительно самостоятельные составляющие. Их удобно преобразовывать средствами цифровой вычислительной техники.

Сигналы, представленные физическими полями, могут быть разделены на

аналоговые

Описываются непрерывными математическими функциями, представляют собой **непрерывный** поток энергии, изменяющейся во времени и пространстве.



дискретные

Описываются функцией отсчетов в виде последовательности значений энергии сигнала в определенные моменты времени в определенных точках пространства.

Сигналы вещественно-предметного типа могут быть разделены на

аналоговые

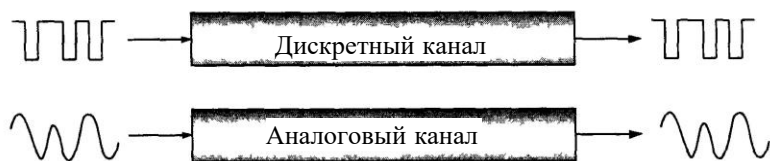
Это изготовленные в единственном экземпляре вещи, которые несут уникальную информацию и не могут быть точно скопированы.



дискретные

Это абсолютно точные копии других вещей, которые несут ту же самую информацию.

СРАВНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ И ДИСКРЕТНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ



По отношению к каналу связи сигналы во всех случаях представляют собой **модулированные электромагнитные колебания**. Но в зависимости от способа модуляции

канал, который создается в линии, может быть или **аналоговым**, или **дискретным**.

Аналоговые каналы настроены на модулирующие воздействия, которые приводят к непрерывным изменениям информационных параметров сигнала.

В **дискретных каналах** сигнал занимает конечное число состояний. Каждое состояние называется **СИМВОЛ** и соответствует одному из знаков дискретного сообщения.

Процесс цифровой модуляции, преобразующий последовательности дискретных знаков в последовательность состояний дискретного сигнала, называют **манипуляцией**.

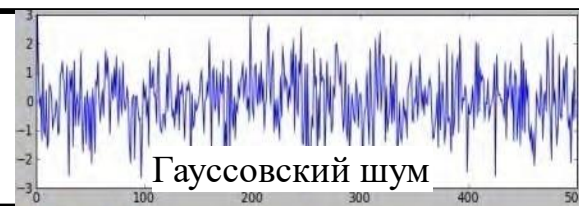
Аналоговый канал характеризуется **шириной полосы пропускания**, измеряемой в Гц.

Цифровой канал – двумя параметрами:

символьная скорость – это тактовая частота канала или количество дискретных символов, которое можно передать по каналу в единицу времени, измеряется в **бод/с**;

пропускная способность – это максимальная скорость битового потока, которую способен поддержать канал при выбранном способе модуляции, измеряется в **бит/с**.

$C = B \cdot \log_2 (1 + S / N)$ – максимальное количество данных, искажаемых гауссовским шумом N , которое можно передать без ошибок, если полоса пропускания канала B и мощность сигнала S .



Повысить пропускную способность канала можно или за счет увеличения его полосы пропускания, или мощности передатчика, или же путем подавления мощности шума (помех) на линии связи.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ

Два главных свойства сигнала:

- 1) его **физические параметры** согласованы с параметрами физической среды распространения,
- 2) его **информационные состояния** согласованы с состояниями сообщения.

Основными физическими параметрами сигналов электросвязи являются:

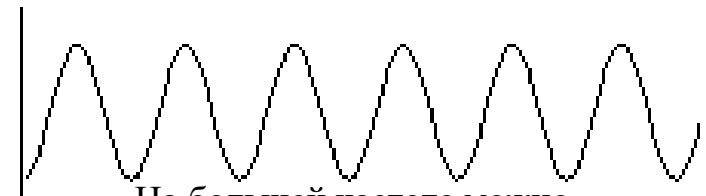
- **длительность** – это интервал времени, в течении которого сигнал существует;
- **ширина спектра** – это диапазон частот, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала;
- **динамический диапазон** – это отношение в децибелах наибольшей мгновенной мощности сигнала к наименьшей мощности, которая необходима для обеспечения заданного качества передачи.

Состояние сигнала – это совокупность значений его физических параметров. Чем больше число таких состояний, которые можно отличить друг от друга при помощи измерений параметров сигнала, тем больше возможности сигнала при передаче знаков сообщения. Эти **информационные возможности** растут прямо пропорционально:

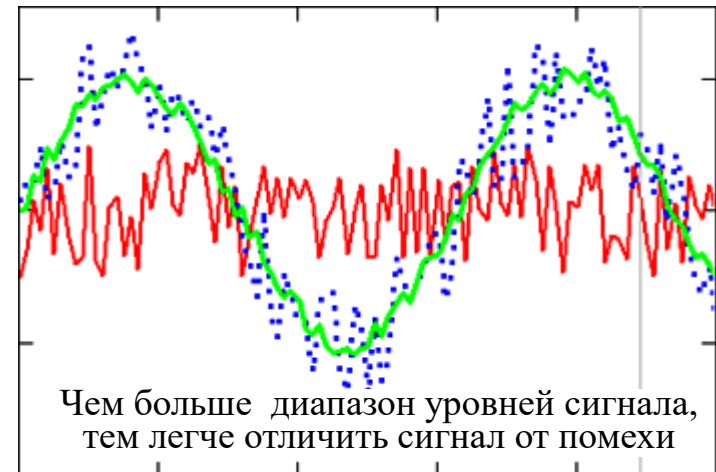
длительности существования сигнала, т.к. за большее время можно произвести большее число изменений значений параметров;

ширины спектра сигнала, т.к. высокочастотные гармоники чаще меняют значение информационно значимых параметров в единицу времени;

динамического диапазона, т.к. мгновенное значение амплитуды сигнала может принимать большее число различных значений.



На большей частоте можно передать больше данных

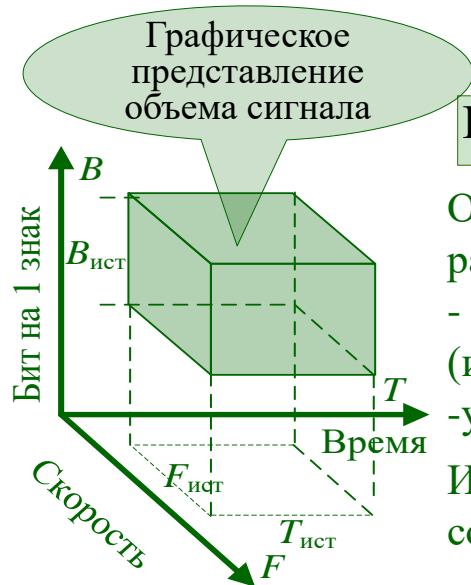
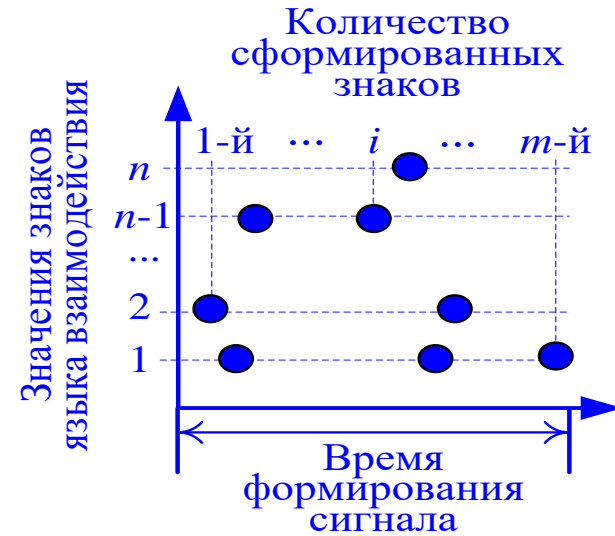


Чем больше диапазон уровней сигнала, тем легче отличить сигнал от помехи

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕМ СИГНАЛА ИСТОЧНИКА ИНФОРМАЦИИ

Общее представление о возможностях сигналов как переносчиков сообщений дает характеристика «**информационный объем сигнала**». Она измеряется в битах и позволяет сопоставить объем данных, выработанных источником информации для передачи по физической среде. В общем случае информационный объем сигнала источника $V_{\text{инф}}$ зависит от трех параметров:

- 1) **время** формирования данных источником – $T_{\text{ист}}$ (с), которое задает длительность (время существования) сигнала;
- 2) **частота** формирования знаков – $F_{\text{ист}}$ (зн/с). Она равна $F_{\text{ист}} = m/T_{\text{ист}}$, где m – количество знаков, которые могут быть сформированы источником за время $T_{\text{ист}}$ (задает спектр сигнала);
- 3) **количество бит**, содержащихся в 1 знаке – $B_{\text{ист}}$ (бит). Эта величина равна $B_{\text{ист}} = \log_2 n$, где n – количество разных значений, которое источник может присваивать знаку (уровней квантования).



Информационный объем сигнала : $V_{\text{инф}} = T_{\text{ист}} \cdot F_{\text{ист}} \cdot B_{\text{ист}} = m \cdot \log_2 n$.

Объем сигнала $V_{\text{инф}}$ равен объему параллелепипеда, построенного в пространстве (T, F, B) . Значение $V_{\text{инф}}$ не будет изменяться, если, например:

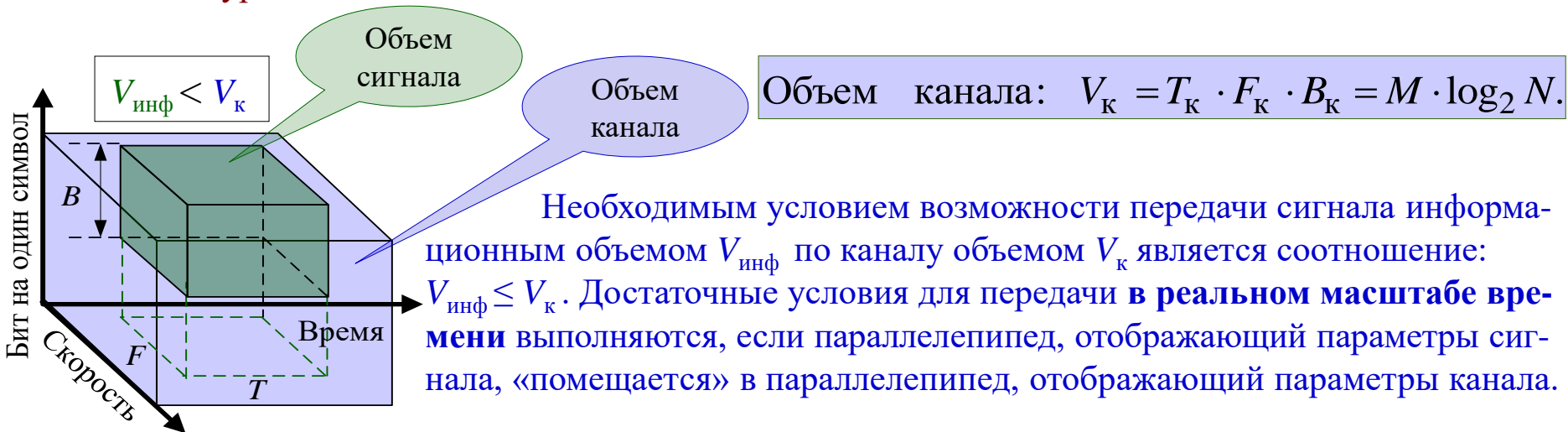
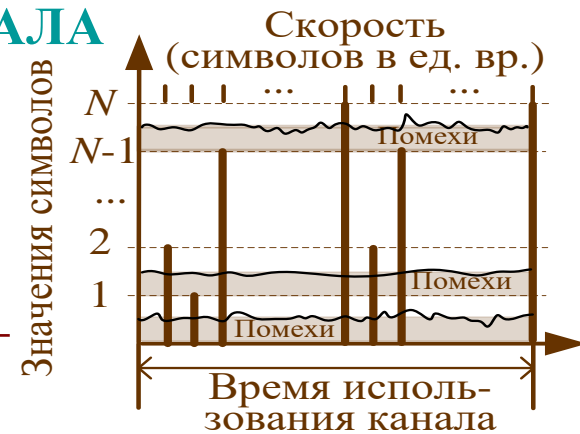
- уменьшать время $T_{\text{ист}}$, но пропорционально увеличивать скорость $F_{\text{ист}}$ и (или) количество бит $B_{\text{ист}}$;
- увеличивать время $T_{\text{ист}}$, но пропорционально уменьшать скорость $F_{\text{ист}}$ и т.д.

Использование понятия «объем сигнала» дает возможность управлять процессом формирования потока данных, поступающих от источников информации.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕМ КАНАЛА

Общее представление о возможностях и способах управления каналами связи, как среды для распространения сигналов, дает объем канала V_k , который измеряется в битах и зависит от трех параметров:

- 1) **время** использования канала – T_k (с);
- 2) **пропускная способность** канала – максимальная **скорость** передачи дискретных символов – F_k (символов/с = бод). Количество символов, передаваемое за время T_k равно $M = F_k \cdot T_k$,
- 3) **количество бит**, которое переносит один символ – B_k (бит). Эта величина равна $B_k = \log_2 N$, где N – число состояний одного символа, если разные состояния равновероятны. Величина N зависит от соотношения уровней сигнала и помехи.



Если канал используется группой пользователей и имеет свободный объем меньший объема заявленного сигнала, то передача станет возможной только после освобождения достаточного объема канала, а это зависит от поведения других пользователей и увеличивает **время доступа** к ресурсам системы распространения.

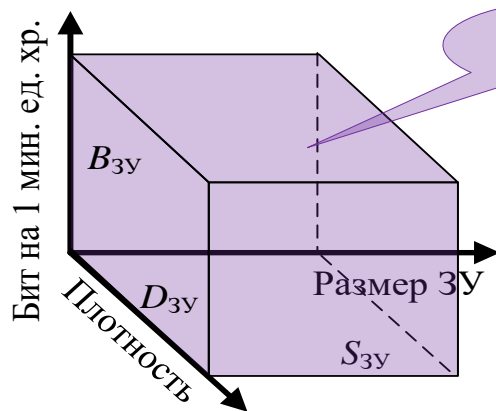
ОБЪЕМ ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Запоминающее устройство (ЗУ) имеет вещественно-предметную форму, определенный размер и переносит во времени (сохраняет) группу минимальных единиц хранения. Общее представление о возможностях и способах управления ЗУ, как переносчиком сигнала во времени, дает объем ЗУ $V_{зу}$, который зависит от трех параметров:

1) геометрический размер (**площадь**) ЗУ – $S_{зу}$ (кв. дюйм);

2) **плотность** размещения мин. ед. хр. – $D_{зу}$ (зн/кв. дюйм), которая равна $D_{зу} = M / S_{зу}$, где M – количество мин. ед. хр., помещающихся на площади $S_{зу}$;

3) **количество бит**, которое сохраняет одна мин. ед. хр. – $B_{зу}$ (бит). Эта величина равна $B_{зу} = \log_2 N$, где N – число состояний одной мин. ед. хр., если эти состояния равновероятны.



$$\text{Объем ЗУ: } V_{зу} = S_{зу} \cdot D_{зу} \cdot B_{зу} = M \cdot \log_2 N.$$

Достаточным условием возможности сохранения сигнала информационным объемом $V_{инф}$ на запоминающем устройстве объемом $V_{зу}$ **в реальном масштабе времени** является соотношение: $V_{ист} \leq V_{зу}$. Согласовать возможности ЗУ с объемами данных, подлежащих сохранению, можно, изменяя $S_{зу}$, $D_{зу}$ и (или) $B_{зу}$.

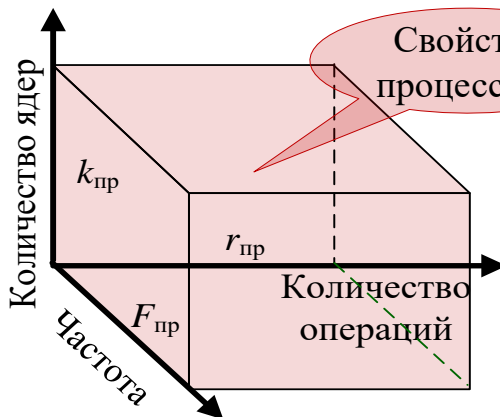
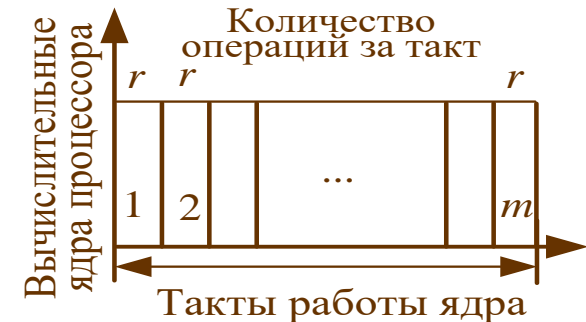
Если ЗУ совместно используется группой пользователей и свободный объем ЗУ меньше объема сигнала, который требуется сохранить, то сохранение станет возможным только после освобождения недостающей части объема ЗУ, а это зависит от поведения других пользователей и увеличивает **время доступа** к ресурсам систем хранения.

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ОБЪЕМ СИГНАЛА И ПИКОВАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССОРА

Алгоритмический объем сигнала $V_{\text{алг}}$ задает сложность алгоритма – это количество операций, которые требуется выполнить для получения искоемых данных из исходных. Величина $V_{\text{алг}}$ зависит не только от особенностей алгоритма, но и от объема входных данных (информационного объема сигнала $V_{\text{инф}}$) и от особенностей (содержательной стороны) самих данных.

Для сравнения вычислительной способности процессоров используются показатели их производительности, которые измеряются в количестве операции, выполняемых процессором в секунду. Под пиковой производительностью понимают величину $G_{\text{пр}}$ (оп/с), которая зависит от трех параметров:

- 1) **тактовая частота** вычислительного ядра – $F_{\text{пр}}$ (Гц),
- 2) **количество операций**, выполняемых за один такт – $r_{\text{пр}}$,
- 3) **число вычислительных ядер** у процессора – $k_{\text{пр}}$.



Пиковая производительность процессора : $G_{\text{пр}} = F_{\text{пр}} \cdot r_{\text{пр}} \cdot k_{\text{пр}}$.

Оценкой снизу для времени $T_{\text{алг}}$ обработки сигнала с алгоритмическим объемом $V_{\text{алг}}$ (оп.) при помощи процессора с пиковой производительностью $G_{\text{пр}}$ (оп./с) является отношение: $T_{\text{алг}} = V_{\text{алг}} / G_{\text{пр}}$. Реальная производительность всегда меньше пиковой и зависит от **согласованности сигнала и архитектуры процессора**.

Для оценки реальной производительности используются бенчмарки (программные тесты). Самым распространенным сегодня является тест LINPACK. Он определяет время решения большой системы линейных уравнений и состоит, в основном, из операций сложения и умножения с двойной точностью.

5. Технические средства для передачи сигналов

ЧТО ТАКОЕ ЛИНИЯ СВЯЗИ?

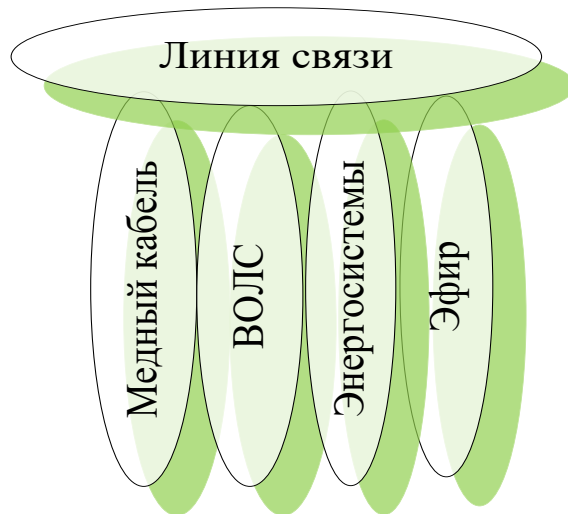
Это совокупность физической среды и технических устройств, обеспечивающих передачу сигналов.

Линию связи характеризуют:

время, в течение которого она может использоваться для передачи сигналов (это время тем больше, чем выше надежность линии);

пропускная способность, измеряемая в объеме данных, которые могут быть переданы по линии связи в единицу времени (чем выше пропускная способность, тем с большей скоростью можно передавать данные);

физические характеристики линии, которые во всех случаях должны быть согласованы с физическими характеристиками сигналов.



Линии связи бывают проводными и беспроводными.

Проводная линия – это специально созданная физическая среда, ориентированная на распространение сигналов с определенными характеристиками. В современных сетях они строятся на основе кабелей. Классификацию кабелей детально описывает стандарт ISO 11801 2002.

Беспроводные линии используют в качестве среды распространения естественные природные объекты, такие как атмосфера, космос или толща Земли. Их характеристики зависят от законов природы, а не от технологических решений, принятых людьми.

СИММЕТРИЧНЫЙ КАБЕЛЬ

Симметричный кабель состоит из одной или нескольких пар скрученных между собой изолированных медных проводников, совершенно одинаковых в электрическом и конструктивном отношениях.

Свивание проводников кабеля по парам улучшает условия передачи электрического сигнала и дает еще одно название для этой конструкции – **витая пара**.

Основные достоинства витых пар по сравнению с другими типами кабеля заключаются в низкой стоимости, простоте монтажа и ремонта любых повреждений.



Все остальные характеристики – затухание сигнала (уменьшение его уровня по мере прохождения по кабелю), ширина полосы пропускания (диапазон частот, в пределах

которого можно обеспечить распространение сигнала), защищенность от внешних электромагнитных помех, а также от несанкционированного снятия сигнала, как контактным, так и бесконтактным методом – у них хуже, чем у кабелей других конструкций.



Кримпер

Технология монтажа. Процесс закрепления витой пары в коннекторе называется обжим. Выражение «обжать витую пару» означает буквально: снять верхний слой защитной изоляции, вставить концы кабеля в нужном порядке в коннектор и хорошенько зажать обжимным инструментом (кримпером).



Имеют значение и направление, и шаг повива пар.



КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

Коаксиальный кабель представляет собой два цилиндра с совмещенной осью, причем один цилиндр (сплошной внутренний проводник) концентрически расположен внутри другого полого цилиндра (внешнего проводника). Проводники изолированы друг от друга диэлектрическим материалом.



Коаксиальный кабель отличается высокой помехозащищенностью, более широкая полоса пропускания. Он лучше защищен от несанкционированного прослушивания сети из-за меньших электромагнитных излучений вовне.

Однако монтаж и ремонт коаксиального кабеля сложнее, чем витой пары, а стоимость его выше.



СВЯЗЬ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДАМ



В качестве проводных линий связи возможно также использование линий электроснабжения. Специальные технологии позволяют превратить любую электрическую розетку в доме в порт для подключения к сетям передачи данных. Достоинством является использование уже готовой сети электрических проводов. Недостатки – это высокие

требования к качеству электропроводки, зависимость характеристик распространения данных от работы электрических приборов, отрицательное влияние распространяемых сигналов на радиоприем др.

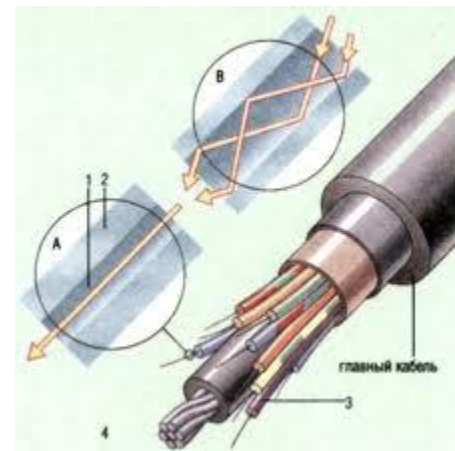
Связь по электрическим проводам пока не может рассматриваться как техническое решение для массовой передачи данных.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

Волоконно-оптический кабель может содержать один или несколько световодов (оптических волокон). Каждый световод – это оптически прозрачная нить, изготовленная из стекла или пластика и способная переносить внутри световой луч посредством полного внутреннего отражения.

Световоды обладают исключительными характеристиками по помехозащищенности и секретности передаваемой информации. Никакие внешние электромагнитные помехи в принципе не способны исказить световой сигнал, а сам сигнал не порождает внешних электромагнитных излучений.

Подключиться к этому типу кабеля для несанкционированного снятия сигнала практически невозможно, так как при этом нарушается целостность оптических волокон. Теоретически возможная полоса пропускания такого кабеля достигает величин несравнимо более высоких, чем у электрических кабелей.



Величина затухания сигнала также существенно меньше, что позволяет увеличивать длины ретрансляционных участков до 100 и более километров. Кроме того, габариты и масса на порядок меньше, чем у электрических кабелей. Стоимость оптоволоконного кабеля постоянно снижается.

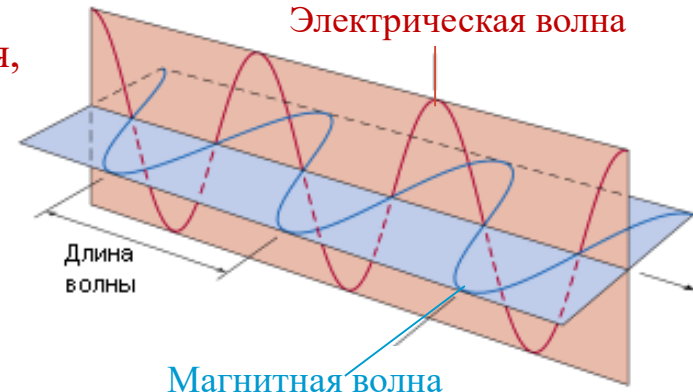


К числу недостатков оптоволоконна относится высокая сложность монтажа, меньшая прочность и гибкость. Он хуже переносит механическое растяжение, раздавливающие воздействия и резкие перепады температуры. Еще один недостаток – это чувствительность к ионизирующим излучениям, из-за которых снижается прозрачность нити и увеличивается затухание сигнала.

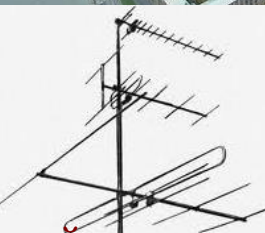
ЛИНИИ РАДИОСВЯЗИ

Наиболее широко используемой технологией беспроводных линий связи является радиосвязь, использующая **радиоволны в качестве носителя сигнала**.

Радиоволны представляют собой электромагнитные колебания, которые, распространяясь в пространстве со скоростью света, переносят энергию, излучаемую источником электромагнитных колебаний. Если на пути радиоволны встречается электрический проводник, то они отдают ему свою энергию, вызывая в этом проводнике переменный электрический ток, повторяющий колебания, заложенные в волну. Радиоволна характеризуется частотой, длиной волны и мощностью переносимой энергии.



На передающей стороне путем модулирования радиоволны формируется радиосигнал определенной частоты и энергии. Этот сигнал излучается передающей антенной. На приемной стороне радиосигнал наводит модулированный сигнал в приемной антенне, после чего из него извлекается исходное сообщение. **Линия радиосвязи** представляет собой сочетание радиопередатчика и радиоприемника, передающей и приемной антенн и среды распространения радиосигнала.



Зависимость дальности и качества связи от погодных условий, времени года, от воздействия любых внешних источников электромагнитных колебаний, препятствий, встречающихся на пути радиоволны, возможность перехвата радиосигналов – эти и другие недостатки компенсируются возможностью использования линий радиосвязи для передачи данных между движущимися объектами и для одновременной передачи данных из одного источника любому количеству получателей данных.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация сетевых технологий.
2. Информация и ее основные элементы.
3. Модель информационного взаимодействия людей.
4. Принцип передачи сигналов электросвязи. Электромагнитный спектр.
5. Скорость распространения сигналов электросвязи.
6. Общая схема системы связи (по К. Шеннону). Характеристики процесса передачи сигналов.
7. Информационные объекты процесса информационного взаимодействия.
8. Обобщенная модель процесса информационного взаимодействия людей и ее элементы.
9. Примеры процессов информационного взаимодействия людей.
10. Основные понятия процесса передачи сигналов.
11. Сообщение и языки их представления.
12. Сообщения в теории информации.
13. Сигнал электросвязи.
14. Классификация и физические характеристики сигналов электросвязи.
15. Ширина спектра и скорость передачи сигналов.
16. Спектральное представление сигналов.
17. Операции преобразования/восстановления сообщений.
18. Исторически значимые изобретения для преобразования сигналов.
19. Преобразование сигналов радиосвязи.
20. Электрооптические преобразования сигналов.
21. Операции модуляции/демодуляции.
22. Аналоговая и импульсная модуляции сообщений.
23. Аналоговая частотная модуляция.
24. Аналоговая модуляция по амплитуде и фазе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

25. Импульсно-кодовая модуляция.
26. Структура кадра первичного потока ИКМ.
27. Оптическая модуляция.
28. Операции кодирования/декодирования.
29. Физическое кодирование цифровых сигналов.
30. Логическое кодирование цифровых сигналов. Исключение длинных последовательностей одинаковых по значению бит при помощи избыточных кодов или скремблирования.
31. Логическое кодирование цифровых сигналов. Помехоустойчивое кодирование. Обеспечение конфиденциальности.
32. Пример системы логического кодирования данных в стандарте IS-95.
33. Сравнение аналоговых и дискретных сигналов.
34. Сравнение аналоговых и дискретных каналов связи.
35. Информационные характеристики сигналов и их связь с физическими характеристиками.
36. Информационный объем сигнала при распространении и сохранении данных.
37. Информационный объем канала.
38. Алгоритмический объем сигнала и пиковая производительность процессора.
39. Что такое линия связи? Характеристики и классификация линий связи.
40. Особенности медных кабелей.
41. Особенности волоконно-оптических кабелей.
42. Особенности линий радиосвязи.