

# Лекция 8. Помехи в каналах СВЯЗИ

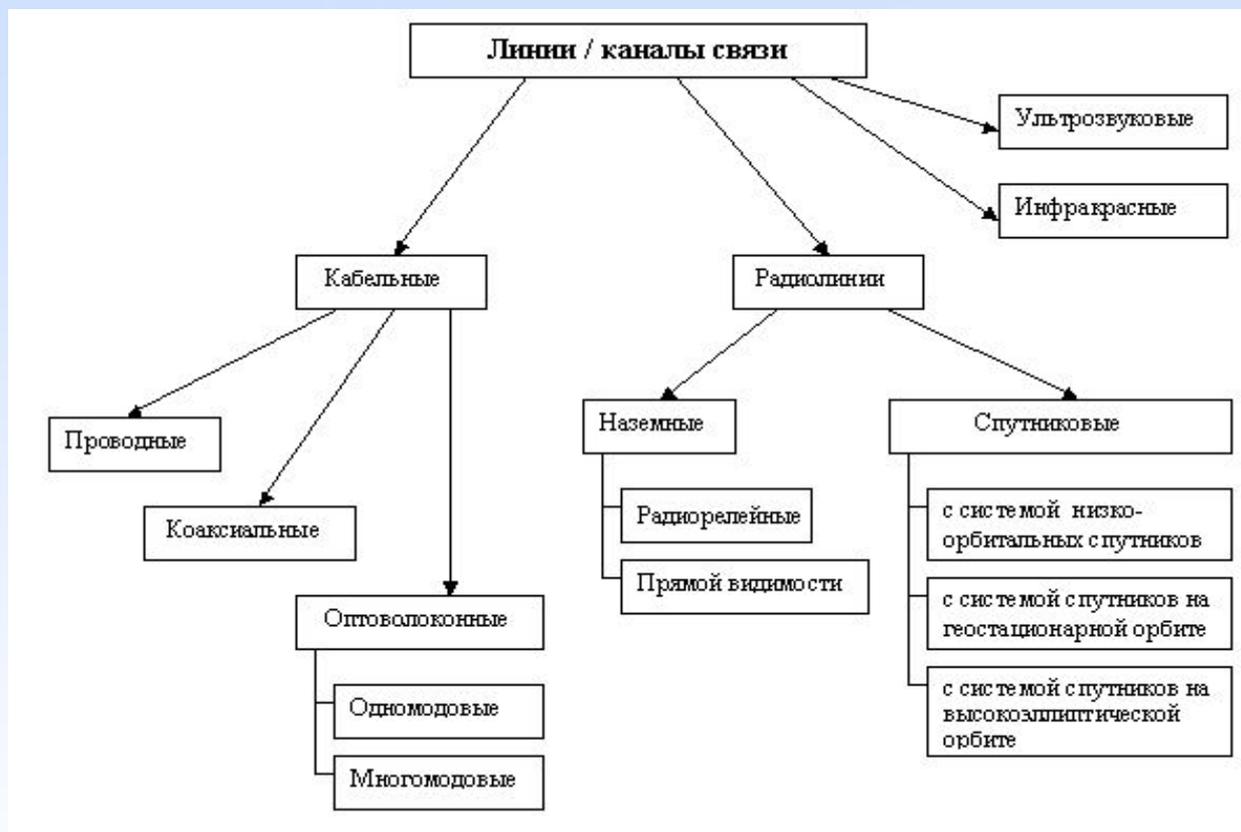
1. Линии закрытой связи.
2. Линии открытой связи.
3. Связь с беспилотными летающими аппаратами (БПЛА).
4. Характеристики линий связи..

## 1. Линии закрытой связи.

Линия связи (ЛС) в узком смысле - физическая среда, по которой передаются информационные сигналы аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. В широком смысле - совокупность физических цепей и (или) линейных трактов систем передачи, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения.

Различают два вида линий связи – линии закрытой и линии открытой связи.

К линиям закрытой связи принято относить проводные и кабельные линии. В настоящее время проводные линии практически не используются. Исключение составляют ЛЭП, по которым могут передаваться сигналы телеуправления и линии домашнего электроснабжения по которым можно передавать данные на относительно небольших скоростях.



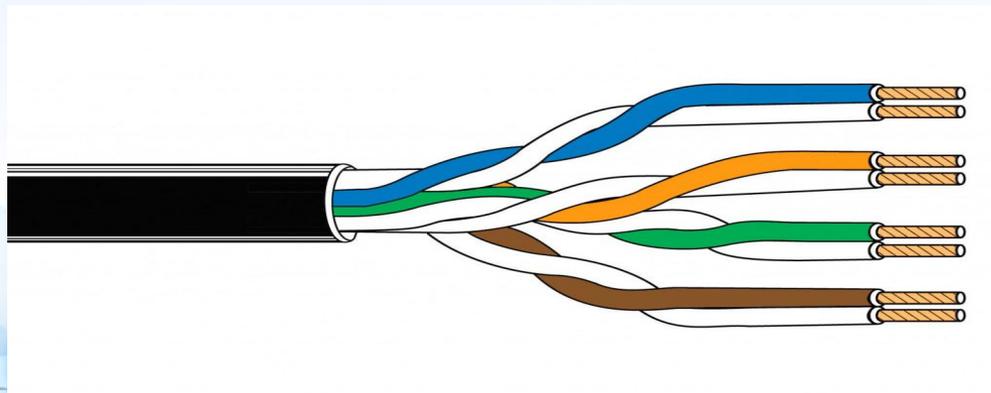
Тип линии	Длина линии	Область применения
Кабели с медными проводными жилами	30-50 км	Магистральные линии
	3-6 км	Абонентские линии
Витая пара	до 100 м	Локальные сети
Коаксиальные кабели	Десятки метров	Подключение антенн к передающему устройству
	150-500 м	Локальные сети
Спутниковые радиолнии	10-12 тыс. км	Магистральные линии
Радиорелейные линии	До 1000 км	Магистральные линии
Одномодовое оптоволокно	До 100 км	Магистральные линии
Многомодовое оптоволокно	2-2,5 км	Связь между сегментами локальной сети, вертикальная проводка в структурированных кабельных системах, подключение компьютеров к локальной сети
Ультразвуковые линии	Десятки метров	Организация локальной сети в небольших помещениях
Инфракрасное излучение	Десятки метров	Организация локальной сети в небольших помещениях
Лазерные линии в свободном пространстве	До нескольких км в зависимости от погодных условий	Связь между сегментами локальной сети

## Кабели на основе витой пары.

Место проводных линий заняли кабели на основе витой пары. Витая пара представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой.

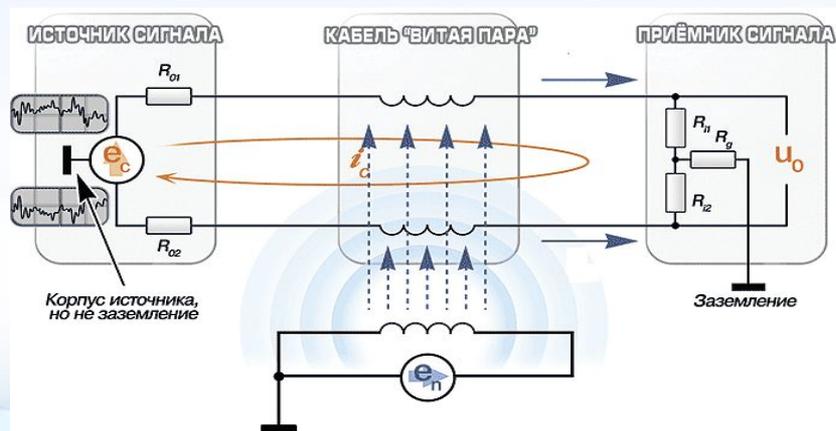
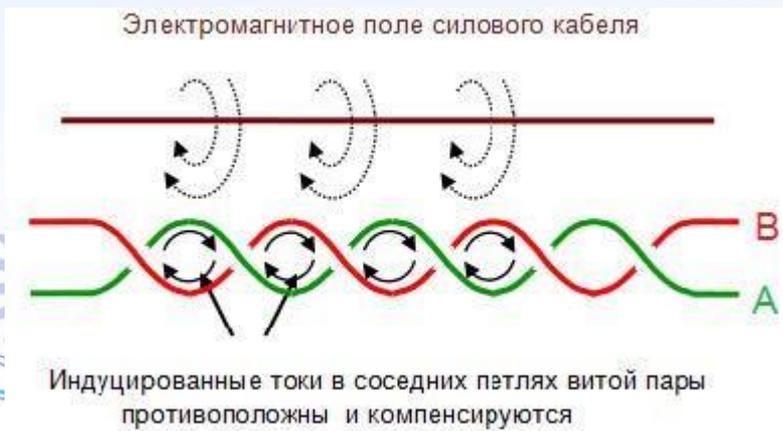
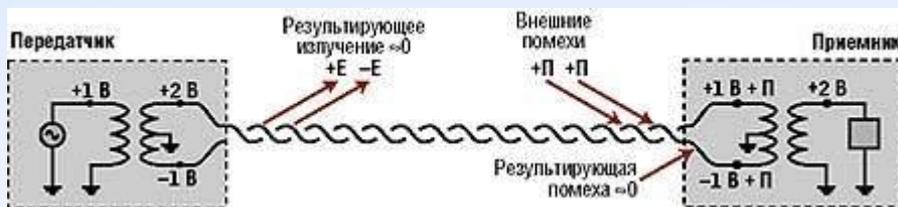
Свивание проводников производится с целью повышения степени связи между собой проводников одной пары (электромагнитные помехи одинаково влияют на оба провода пары) и последующего уменьшения электромагнитных помех от внешних источников, а также взаимных наводок при передаче дифференциальных сигналов.

Для снижения связи отдельных пар кабеля (периодического сближения проводников различных пар) в кабелях UTP категории 5 и выше провода пары свиваются с различным шагом.



Общепринятое название	Обозначение по ISO/IEC 11801	Общий экран	Экран для пар
<b>UTP</b>	U/UTP	нет	нет
<b>STP, ScTP, PiMF</b>	U/FTP	нет	фольга
<b>FTP, STP, ScTP</b>	F/UTP	фольга	нет
<b>STP, ScTP</b>	S/UTP	оплётка	нет
<b>SFTP, S-FTP, STP</b>	SF/UTP	оплётка, фольга	нет
<b>FFTP</b>	F/FTP	фольга	фольга
<b>SSTP, SFTP, STP PiMF</b>	S/FTP	оплётка	фольга
<b>SSTP, SFTP</b>	SF/FTP	оплётка, фольга	фольга

Компенсация помех в витой паре достигается за счёт симметрирования. В скрученной (витой) паре провода меняются местами - этим достигаются симметричные условия возбуждения помехи в проводах пары, т. е. баланс. В идеально симметричной паре помехи, наведенные в проводах пары, взаимоуничтожаются. На практике полного баланса, конечно, не бывает, и некая результирующая помеха остается. То же самое можно сказать и относительно излученной помехи: чем лучше баланс пары, тем меньше витая пара излучает наружу, в окружающую среду.



## **Основные характеристики витой пары.**

Электрические свойства витой пары, как и любой другой направляющей системы электромагнитных колебаний, полностью характеризуются ее первичными параметрами: сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$  проводников, а также емкостью  $C$  и проводимостью  $G$  изоляции.

Эти параметры ( $R$  и  $G$ ) обуславливают потери энергии: первый - тепловые потери в проводе и экране (при его наличии), второй - потери в изоляции.

Параметры  $L$  и  $C$  определяют реактивность витой пары как направляющей системы и, следовательно, ее частотные свойства.

Конкретные значения первичных параметров зависят от конструкции кабеля и, в частности, от геометрии отдельных его компонентов, их взаимного расположения, материала проводников, изоляции и внешних покровов и т.д.

## **Емкость.**

Конструктивно витая пара представляет собой два проводника, отделенных друг от друга слоем твердой изоляции и воздушным промежутком.

Такая структура может рассматриваться как конденсатор, где роль обкладок играют проводники, а функции диэлектрика выполняют расположенные между ними изоляционный материал и воздух, и обладает заметной емкостью, величина которой линейно возрастает по мере увеличения длины.

Электрическая емкость между проводниками витой пары ограничивает ширину полосы пропускания кабеля и приводит к искажениям высокочастотной части спектра передаваемого сигнала.

Емкость не зависит от частоты. По стандарту TIA/EIA-568-A для кабелей категории 3 на длине 100 м емкость не должна превышать 6,6 нФ, а для кабелей категорий 4 и 5 - 5,6 нФ.

## **Активное сопротивление.**

Активное сопротивление зависит от материала провода, его длины и сечения, а также от температуры.

Проводники витых пар, применяемых в СКС, изготавливаются из меди, обладающей низким удельным сопротивлением.

Чем меньше сечение провода, чем больше его длина и чем выше температура, тем выше активное сопротивление и соответственно затухание витой пары.

Согласно требованиям стандарта TIA/ EIA-568-A при температуре 20°C сопротивление постоянному току любого проводника витой пары длиной 100 м не должно превышать 9,38 Ом.

С увеличением частоты сигнала активное сопротивление провода возрастает.

Это вызвано тем, что, во-первых, в результате поверхностного эффекта происходит вытеснение тока к поверхности проводника и, во-вторых, ток протекает в основном по поверхности, обращенной ко второму проводнику (эффект близости).

## **Индуктивность.**

Витая пара состоит из двух изолированных проводников, каждый из которых при протекании через него тока накапливает энергию, то есть обладает свойством индуктивности.

По мере увеличения частоты за счет поверхностного эффекта происходит уменьшение индуктивности.

## **Волновое сопротивление.**

Волновое сопротивление, или импеданс, - это сопротивление, которое встречает электромагнитная волна при распространении вдоль любой однородной (то есть без отражений) направляющей системы, в том числе и витой пары.

Оно свойственно данному типу кабеля и зависит только от его первичных параметров и частоты.

Волновое сопротивление связано с первичными параметрами следующим простым соотношением:

$$Z = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)}$$

Волновое сопротивление численно равно входному сопротивлению линии бесконечной длины, которая имеет конечную нагрузку, равную ее собственному волновому сопротивлению.

## **Затухание.**

При распространении по витой паре электромагнитный сигнал постепенно теряет свою энергию.

Этот эффект называется ослаблением, или затуханием.

Затухание принято оценивать в децибелах как разность между уровнями сигналов на выходе передатчика и входе приемника.

Один децибел соответствует изменению мощности в 1,26 раза или напряжения в 1,12 раза.

В обобщенном виде его величину теоретически можно определить как реальную часть так называемого коэффициента распространения  $\gamma$ , который связан с первичными параметрами следующим простым соотношением:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

## **Характеристики кабеля.**

Характеристики кабеля витой пары зависят от структуры кабеля и применяемых в нем материалов.

**Характеристический импеданс.** Кабели могут иметь различные номиналы импеданса, обычно – 100, 120 и 150 Ом. Кабель UTP практически всегда имеет импеданс 100 Ом. Импеданс применяемого кабеля должен соответствовать импедансу соединяемого им оборудования, в противном случае помехи, возникающие от отраженного сигнала, могут привести к неработоспособности соединений.

**Скорость/задержка распространения сигнала NVP** (Nominal Velocity of Propagation) – скорость распространения сигнала. Часто применяется производная от NVP и длины кабеля характеристика «delay» (задержка), выражающаяся в наносекундах на 100 метров пары.

Важной характеристикой витой пары также является **погонное затухание** (Attenuation), характеризующее величину потери мощности сигнала при передаче.

Другим важным параметром является **NEXT (Near End Crosstalk)**, или **переходное затухание между парами в многопарном кабеле, измеренное на ближнем конце** – то есть со стороны передатчика сигнала, которое характеризует перекрестные наводки между парами.

## Коаксиальный кабель.

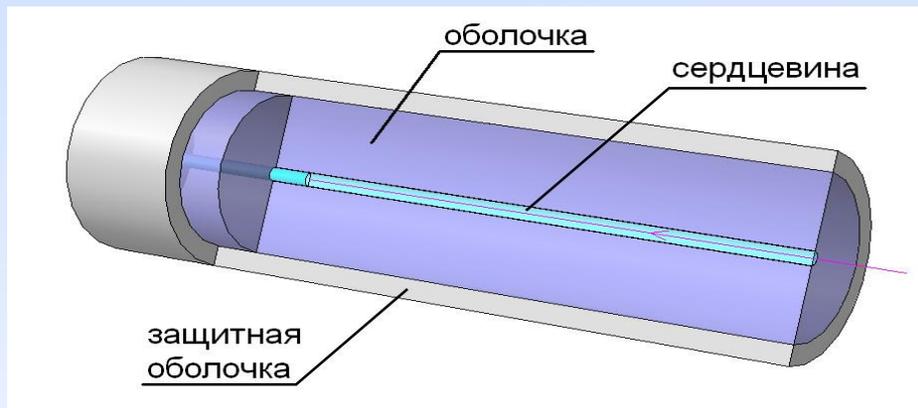
Простейшая конструкция коаксиального кабеля включает в себя медную жилу, заключенную в изоляцию, металлическую экранирующую оплетку и внешнюю оболочку. В некоторых модификациях дополнительно присутствует слой фольги, что означает двойную экранизацию.



До недавних пор коаксиальный кабель широко применялся в различных областях. Его технические характеристики обеспечивали надежную защиту от помех, высокую допустимую скорость передачи данных на значительные расстояния. Некоторые качества кабеля значительно выше, чем у витой пары. Поэтому вопроса, для чего нужен такой кабель, ни у кого не возникало. Однако со временем витая пара стала применяться все чаще, поскольку ее монтаж значительно проще и быстрее, по сравнению с коаксиальным кабелем, стоимость которого также более высокая.

## Оптоволокно.

**Оптическое волокно** - нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.



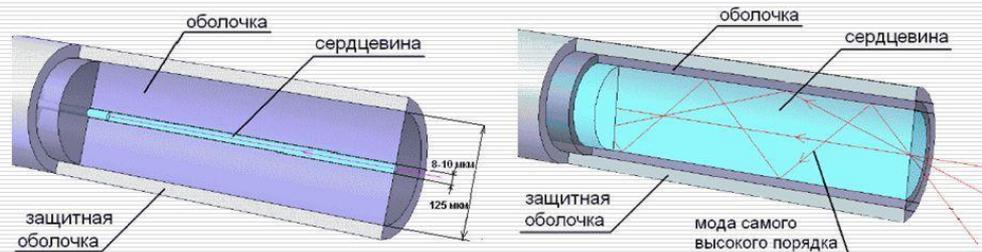
Основные преимущества:

1. Оптическое волокно – это долговечный материал, который имеет очень высокий уровень пропускной способности. Именно эта характеристика отвечает за высокую скорость передачи данных.
2. Безопасная передача данных – использование оптоволокна позволяет программному обеспечению мгновенно выявить факт несанкционированного доступа к данным сети. Доступ злоумышленников к информации практически невозможен.
3. Оптоволокно также отличается отличным уровнем защиты от помех и хорошим шумоподавлением.

Оптические волокна могут быть одномодовыми и многомодовыми. Диаметр сердцевины одномодовых волокон составляет от 7 до 10 микрон. Благодаря малому диаметру сердцевины оптическое излучение распространяется по волокну в одной (основной, фундаментальной) моде и, как результат, отсутствует межмодовая дисперсия

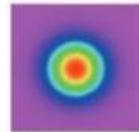
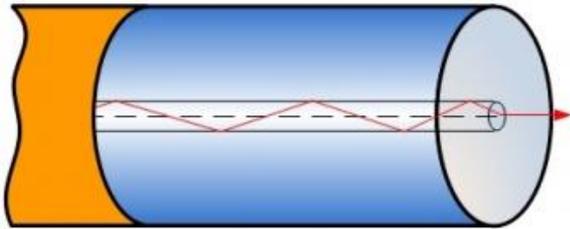
## Виды оптических волокон

- Мода – вид траектории, вдоль которой может распространяться свет.
- Одномодовое и многомодовое оптические волокна



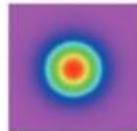
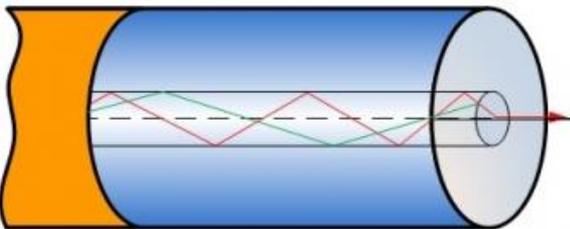
MyShared

Одномодовое волокно

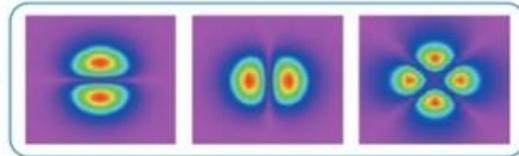


Основная мода

Маломодовое волокно

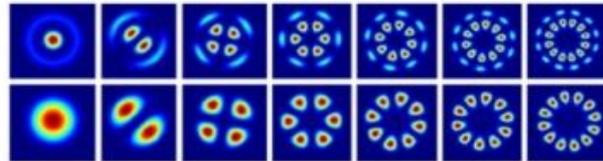
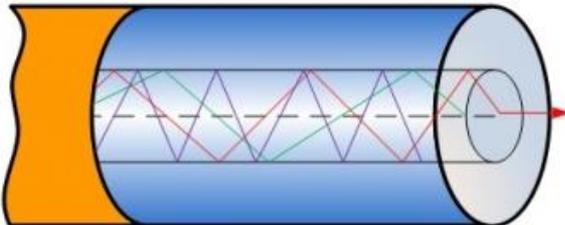


+



Несколько мод более высокого порядка

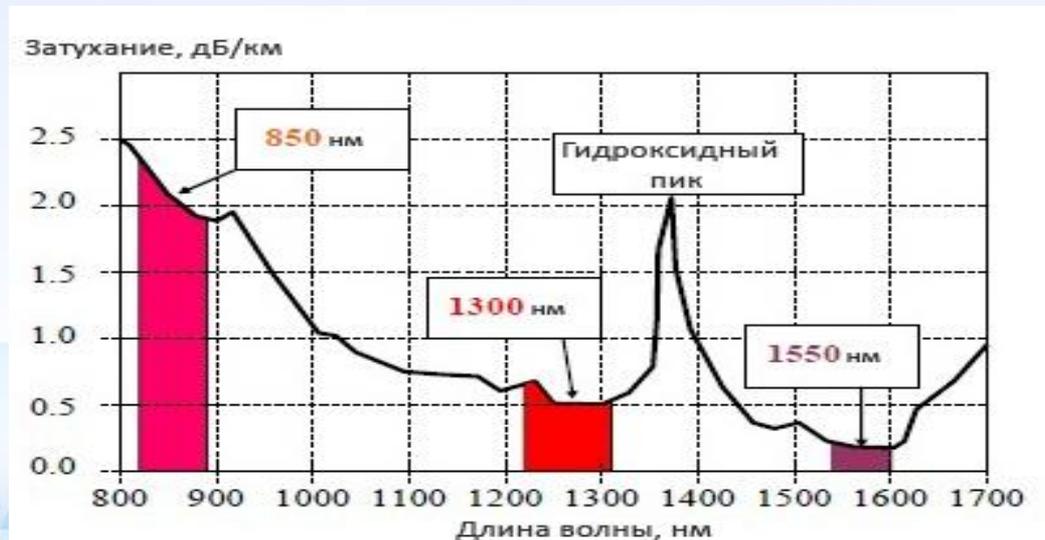
Многомодовое волокно



## **Преимущества малоимодовых волокон:**

1. Масштабируемость до ~50 мод (уже продемонстрирована возможность благоприятного режима передачи 15 мод).
2. Диаметр оболочки волокна стандартный 125 мкм.
3. Возможна сварка с помощью традиционных аппаратов для сварки волокон.
4. Обеспечивают самое большое количество мод на поперечное сечение волокна.
5. Возможна эффективная накачка волокна для обеспечения оптического усиления.
6. Многие традиционные оптические компоненты можно легко приспособить к малоимодовым волокнам.

**Окно прозрачности** - диапазон длин волн оптического излучения, в котором имеет место меньшее, по сравнению с другими диапазонами, затухание излучения в среде, в частности — в оптическом волокне. Стандартное ступенчатое оптическое волокно (SMF) имеет три окна прозрачности: 850 нм, 1310 нм и 1550 нм. К настоящему времени разработаны четвёртое (1580 нм) и пятое (1400 нм) окна прозрачности, а также оптические волокна, имеющие относительно хорошую прозрачность во всём ближнем инфракрасном диапазоне. Для других типов оптического волокна диапазон прозрачности может быть намного шире, например, в кварцевом оптоволокне полоса пропускания может охватывать весь видимый диапазон, а также ближний и средний инфракрасный



## 2. Линии открытой связи.

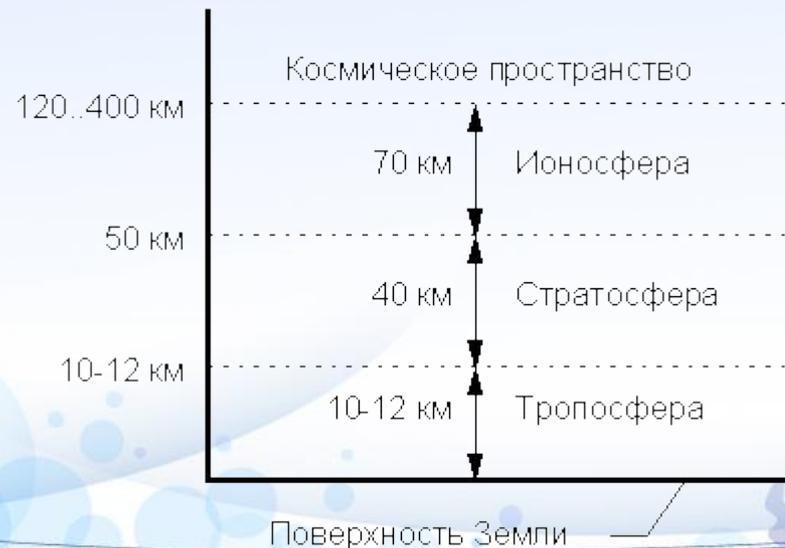
К таким линиям относят различные радиолнии, в том числе и спутниковые и оптические (линии лазерной связи).

### Радиолнии.

Радиолния – это совокупность средств связи, антенно-фидерных устройств, участвующих в процессе приёма и передачи информации, а также физическая среда, в которой происходит распространение сигналов от пункта передачи к пункту приёма.

Частотные диапазоны, используемые для передачи данных.

В радиолниях связи средой распространения электромагнитных волн в подавляющем большинстве случаев (за исключением случая связи между космическими аппаратами) является атмосфера Земли.



Вид радиоволн	Тип радиоволн	Диапазон радиоволн (длина волны)	Номер диапазона	Диапазон частот	Вид радиочастот
<b>Мириаметровые</b>	Сверхдлинные	10..100 км	4	3..30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
<b>Километровые</b>	Длинные	1..10 км	5	30..300 кГц	Низкие (НЧ)
<b>Гектометровые</b>	Средние	100..1000 м	6	300..3000 кГц	Средние (СЧ)
<b>Декаметровые</b>	Короткие	10..100 м	7	3..30 МГц	Высокие (ВЧ)
<b>Метровые</b>		1..10 м	8	30..300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
<b>Дециметровые</b>	Ультракороткие	10..100 см	9	300..3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)
<b>Сантиметровые</b>		1..10 см	10	3..30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
<b>Миллиметровые</b>		1..10 мм	11	30..300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)
<b>Децимиллиметровые</b>		0.1..1 мм	12	300..3000 ГГц	Гипервысокие (ГВЧ)

## Радиолинии наземные.

Наземные радиолинии делятся на два вида - радиолинии прямой видимости или однопролетные радиолинии (точка - точка), и радиорелейные линии. Необходимость создания радиорелейных линий объясняется тем, что радиоволны длиной от 1 метра и короче не огибают Земной шар и не отражаются от ионосферы. Поэтому максимальная дальность такой радиолинии определяется прямой видимостью между приемо-передающими антеннами радиостанций.

Для увеличения дальности действия радиолиний строят радиорелейные линии.

Радиорелейная связь (РРС) осуществляется при помощи цепочки приёмо-передающих радиостанций, отстоящих друг от друга на расстоянии прямой видимости их антенн. Каждая такая станция принимает сигнал от соседней станции, усиливает его и передаёт дальше — следующей станции

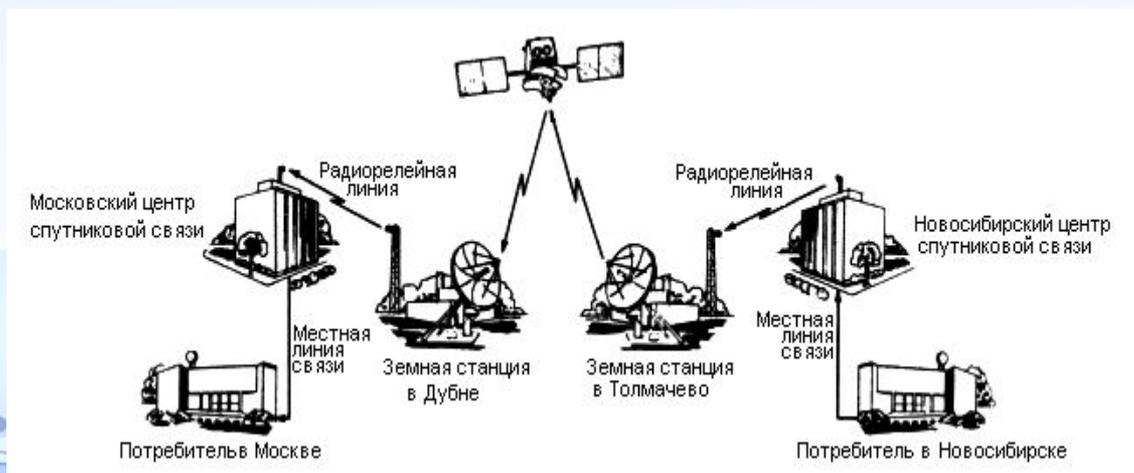


## Спутниковые радиолинии.

Для организации спутниковой радиолинии необходимы две земные станции и спутник, обращающийся на орбите вокруг Земли. Комплекс Земных станций, один или несколько спутников, обращающихся на околоземной орбите, и систему управления ими называют системой спутниковой связи (ССС). Принципиально возможны два пути организации связи с использованием искусственных спутников Земли (ИСЗ):

- пассивного типа, имеющих большую отражающую поверхность для падающих радиоволн;
- активного типа, имеющих на борту приемопередатчики соответствующего диапазона волн, приемопередающие антенные устройства и устройства электропитания.

Системы спутниковой связи могут строиться различными способами в зависимости от решаемых задач.

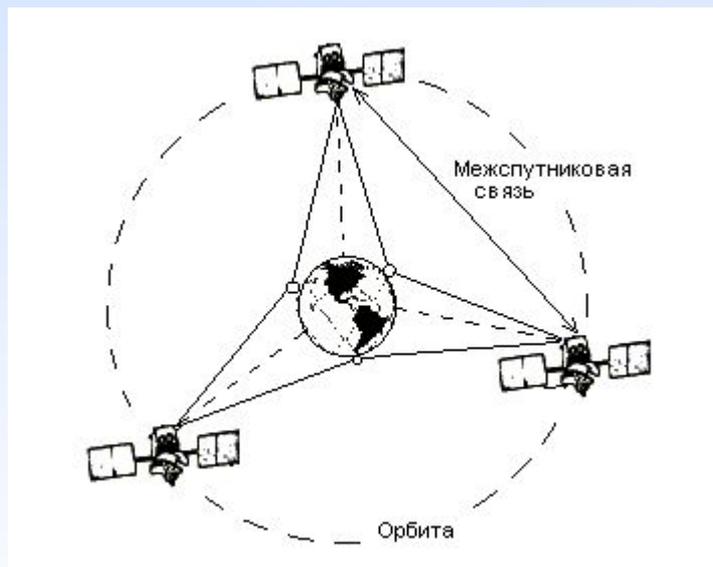


## Типы используемых орбит.

Показатель	Геостационарная орбита	Средневысотная орбита	Низкоорбитальная орбита
Высота орбиты, км	36 000	5000-15 000	500-2000
Количество КА в ОГ	3	8-12	48-66
Зона покрытия одного КА (угол радиовидимости 50), % от поверхности Земли	34	25-28	3-7
Время пребывания КА в зоне радиовидимости (в сутки)	24 ч	1,5-2 ч	10-15 мин
Время переключения с одного спутника на другой, мин	Не требуется	50	8-10
Время переключения из одного луча в другой, мин	10-15	5-6	1,5-2,0

## Геостационарная орбита.

Геостационарные спутники, располагаясь на высоте примерно 36 тыс. км в плоскости экватора и двигаясь со скоростью вращения Земли, как бы «зависают» над определенной точкой земной поверхности, которая располагается на экваторе (так называемой подспутниковой точкой).



Связь через геостационарный ИСЗ не имеет перерывов в обслуживании, обусловленных взаимным перемещением спутника и наземной станции, а система из трех спутников обеспечивает охват практически всей территории земной поверхности.

Недостаток - задержка сигнала. Спутники на геостационарных орбитах оптимальны для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс (в каждом направлении) не сказываются на качественных характеристиках сигналов.

## **Средне- и низковысотные круговые орбиты (5000-15000 км).**

Спутники на средних высотах перемещаются относительно земных станций, зоны взаимной радиовидимости через них меньше, поэтому требуется использование земной станции - шлюза, либо межспутниковых линий связи, позволяющих передать сигнал на тот спутник, в зоне видимости которого находится приемная земная станция. Однако при этом число спутников, находящихся в зоне видимости земной станции, может составлять 2 - 3 и более, что позволит выбрать для связи спутник, находящийся под большим углом к земной поверхности.

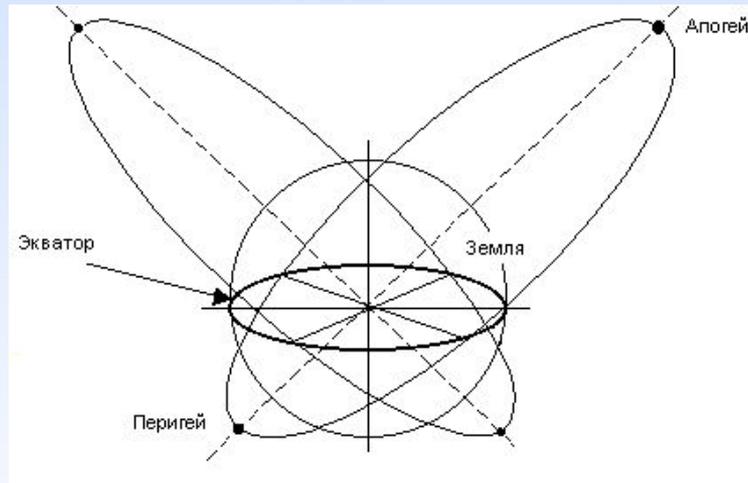
Низкоорбитальные спутниковые системы связи нашли применение как средства подвижной радиосвязи в дополнение наземных сотовых радиосетей, так и в качестве фиксированной радиосвязи в удаленных и труднодоступных районах.

Они используются:

- для передачи данных по типу электронной почты;
- для обмена деловой информацией;
- для персонального радиовызова;
- для определения местонахождения и передачи информации о местонахождении подвижных объектов;
- для экономического, промышленного и научного мониторинга земной поверхности.

## Эллиптические орбиты (300 (перигей) – 150000 (апогей) км).

Основными параметрами, характеризующими тип эллиптической орбиты, являются период обращения спутника вокруг Земли и эксцентриситет (показатель эллиптичности орбиты)



Системы с ИСЗ на эллиптических орбитах не лишены «природных» ограничений. Постоянство местоположения КА на эллиптической орбите обеспечивается только при двух значениях наклона плоскости орбиты к экватору - 63,4 град. и 116,6 град. Это объясняется воздействием неоднородностей гравитационного поля Земли, из-за которого большая ось эллиптической орбиты испытывает вращательный момент, что приводит к колебаниям широты подспутниковой точки в апогее.

## Лазерная связь (FSO).

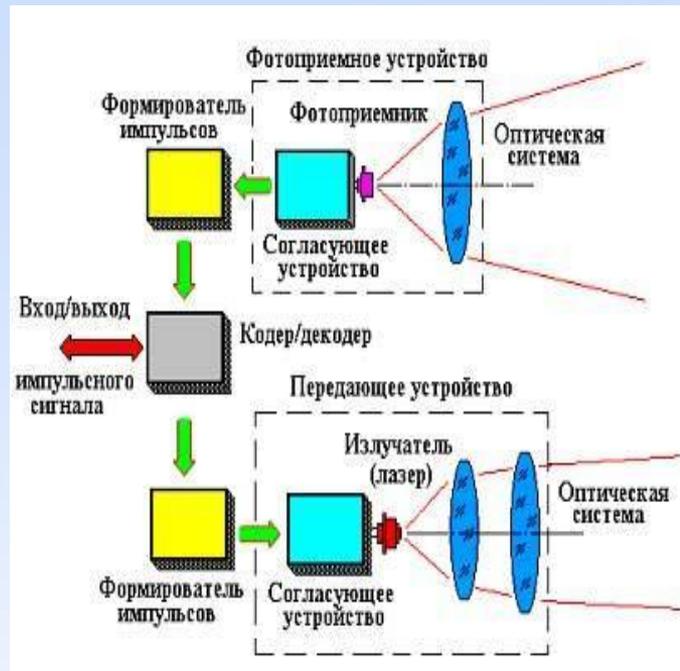
Лазерная связь обеспечивает экономичное решение проблемы надежной и высокоскоростной ближней связи (1,2 км), которая может возникнуть при объединении телекоммуникационных систем разных зданий. Ее использование позволит осуществить интеграцию локальных сетей с глобальными, интеграцию удаленных друг от друга локальных сетей, а также обеспечить нужды цифровой телефонии. Лазерная связь поддерживает все необходимые для этих целей интерфейсы - от RS-232 до ATM.

В качестве основных свойств лазерных систем связи, на основе которых обеспечивается весьма существенное повышение безопасности и надежности информационного обмена, можно выделить:

- практически абсолютную защищенность канала от несанкционированного доступа и, как следствие, высокий уровень помехоустойчивости и помехозащищенности;
- высокие информационные емкости каналов (до десятков Гбит/с), что обеспечивает возможность устойчивого криптографирования с высоким уровнем избыточности;
- отсутствие ярко выраженных демаскирующих признаков (в основном побочных электромагнитных излучений) и возможность дополнительной маскировки, позволяющей скрыть не только передаваемую информацию, но и сам факт информационного обмена.

Среди воздействующих факторов по интенсивности воздействия при дальности связи 10.2 км можно выделить:

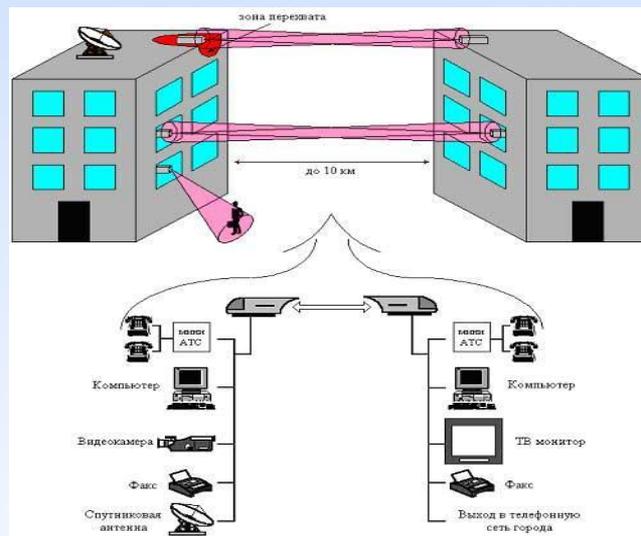
- снегопад - (более 50 % ошибок);
- туман - (около 30 % ошибок);
- смог, дым труб и т.п. - (примерно 20 % ошибок).



Условно области применения разрабатываемых и выпускаемых лазерных систем можно разделить на пять взаимосвязанных техническими средствами групп:

- передача информации в системах телекоммуникации, телефонные удлинители, вставки, передача телевизионных изображений и решение аналогичных задач;
- скрытная передача информации в системах специальной связи типа «точка – точка» между подвижными или стационарными абонентами;
- анализ характеристик передаваемого оптического сигнала для обнаружения и идентификации объектов находящихся в поле зрения в системах охранной сигнализации активного типа;
- дистанционное измерение микродеформаций с диэлектрических поверхностей в системах негласного съема информации;
- защита от оптических систем наблюдения и систем негласного съема информации.

При использовании лазерных систем в этом случае часто в качестве одного из их достоинств отмечают малое время развертывания и возможность одновременной параллельной работы нескольких линий связи



Реальные перспективы для лазерных систем связи открываются в системах космической связи «ИСЗ-ИСЗ» ввиду отсутствия атмосферы. В таких системах широкополосная и узкополосная информация от низкоорбитальных КА будет передаваться по лазерным линиям связи на стационарные ИСЗ и с них на наземные станции. Важное значение будут иметь спутниковые системы связи «Земля-Земля» через ИСЗ-ретранслятор с лазерными линиями связи.

Лазерные линии связи обладают следующими преимуществами:

- экономическая выгода (не нужно рыть транши и арендовать землю для организации канала связи);
- отсутствие необходимости в лицензии и специальных разрешениях на использование частот;
- позволяют сверхбыстро развернуть новый беспроводной гигабитный канал связи в течение одного дня;
- высокое качество цифровой связи и пропускная способность до 10 Гбит/с;
- простое преодоление таких преград на пути сигнала, как автомобильные дороги, железные дороги, реки, рельеф и т.д

Области применения FSO оборудования:

- мобильная и фиксированная связь;
- Интернет;
- охранные системы, системы видеонаблюдения;
- быстрое построение сетевой инфраструктуры;
- оперативное преодоление различных преград (реки, железные дороги, автомагистрали, горные районы и т.п., где прокладка кабельных соединений невозможна или затруднена).

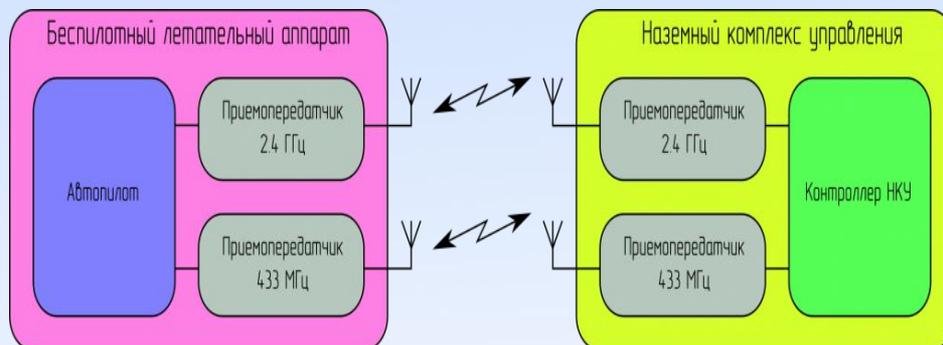
### **3. Связь с беспилотными летающими аппаратами (БПЛА).**

Выбор рабочего частотного диапазона радиоканала связи обуславливается несколькими факторами:

- требованиями к массе, габаритам и потреблению приемопередающего устройства БПЛА;
- необходимой дальностью работы при заданной вероятности битовой ошибки;
- возможностью получения лицензии на работу в необходимом диапазоне или возможностью безлицензионной работы.

Одним из подходящих частотных диапазонов является диапазон 2,4 ГГц. Безлицензионная работа в этом диапазоне разрешена только для внутриофисного оборудования, поэтому необходимо рассматривать варианты получения лицензии.

К системам связи БПЛА среднего и большого класса предъявляются более жесткие требования по дальности работы, помехозащищенности и вероятности битовой ошибки. В этом случае является возможным и оптимальным комплексирование нескольких каналов связи, работающих в разных частотных диапазонах.



Как правило, максимальное расстояние для прямой радиосвязи между БПЛА гражданского назначения и НКУ на сегодняшний день составляет не более 100 км. Для командно-телеметрической связи на больших расстояниях возможно использование спутниковой связи. В этом случае поток данных ограничивается минимально необходимой информацией о состоянии БПЛА, интервал передачи которой может составлять, например, от 30 до 300 секунд.

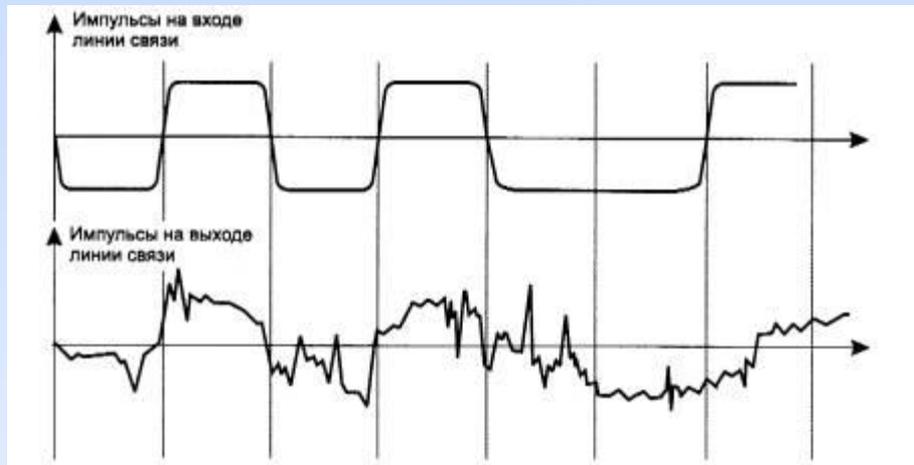
Перспективным направлением в развитии систем связи с БПЛА является использование частотных диапазонов выше 5 ГГц. При этом становится возможной передача большого объема данных полезной нагрузки в режиме реального времени (например, это могут быть изображения с датчиков излучения различного диапазона длин волн).

Для обеспечения максимальной дальности связи в этом случае необходимо использовать наиболее энергетически эффективные методы модуляции. В общем случае, в условиях ограниченной полосы частот, наиболее эффективным методом модуляции является квадратурная амплитудная манипуляция (КАМ, QAM), что определяется наибольшими расстояниями между точками в сигнальном созвездии в отличие от простой фазовой манипуляции или амплитудной манипуляции.

#### **4. Характеристики линий связи.**

К основным характеристикам линий связи относятся следующие:

- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
- полоса пропускания;
- затухание;
- пропускная способность;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;
- достоверность передачи данных;
- удельная стоимость.



**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** дает наиболее полное представление о линии связи, она показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала (вместо амплитуды сигнала часто используется его мощность).

Электрическая модель любой линии связи – это полосовой фильтр, с полосой пропускания от  $f_{\text{ниж}}$  до  $f_{\text{верх}}$ . Фильтр любого типа имеет вполне определённую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), которая показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе фильтра (линии связи) по сравнению с амплитудой на её входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.



Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

**Полоса пропускания линии связи** представляет собой непрерывный диапазон частот, в котором отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает заранее заданный предел (обычно 0,5)



**Затухание** – это относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты.

Затухание  $A$  измеряется в децибелах (dB, дБ) и вычисляется по формуле:

$$A = 10 \lg(P_{\text{ВЫХ}}/P_{\text{ВХ}})$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$ ,  $P_{\text{ВХ}}$  – мощность сигнала соответственно на выходе и на входе линии.

**Пропускная способность** линии связи зависит от ее характеристик (АЧХ, ширины полосы пропускания, затухания) и от спектра передаваемых сигналов, который, в свою очередь, зависит от выбранного способа физического или линейного кодирования (т.е. от способа представления дискретной информации в виде сигналов). Для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого – другой.

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

Большее практическое применение получило соотношение, найденное Найквистом:

$$C = 2\Delta F \log_2 M,$$

где  $M$  – количество различных состояний информационного параметра передаваемого сигнала.

**Помехоустойчивость линии связи** – это ее способность уменьшать на внутренних проводниках уровень помех, создаваемых во внешней среде.

**Достоверность передачи данных** (или интенсивность битовых ошибок) характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных.

**Удельная стоимость.** Характеризуется затратами на передачу одного бита информации при заданных скорости и достоверности передачи информации. Определяется типом канала связи и его параметрами.