

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Раздел 3. Технологии физического уровня. Линии связи. Классификация линий связи. Характеристики линии связи.

### Тема 3 - 05

*Методы передачи дискретных данных, общие для локальных и глобальных сетей по длинным линиям связи (>10 м)*

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Линии и каналы связи, первичные сети

**Звено** (link) — это сегмент, обеспечивающий передачу данных между двумя соседними узлами сети. То есть звено не содержит промежуточных устройств коммутации и мультиплексирования.

**Каналом** (channel) чаще всего обозначают часть пропускной способности звена, используемую независимо при коммутации. Например, звено первичной сети может состоять из 30 каналов, каждый из которых обладает пропускной способностью 64 Кбит/с.

**Составной канал** (circuit) — это путь между двумя конечными узлами сети. Составной канал образуется отдельными каналами промежуточных звеньев и внутренними соединениями в коммутаторах. Часто эпитет «составной» опускается и термин «канал» используется для обозначения как составного канала, так и канала между соседними узлами, то есть в пределах звена.

*Линия связи* может использоваться как синоним для любого из трех остальных терминов. [Л.1 -230-253]

# Тема 3 - 05. Линии и каналы связи, первичные сети

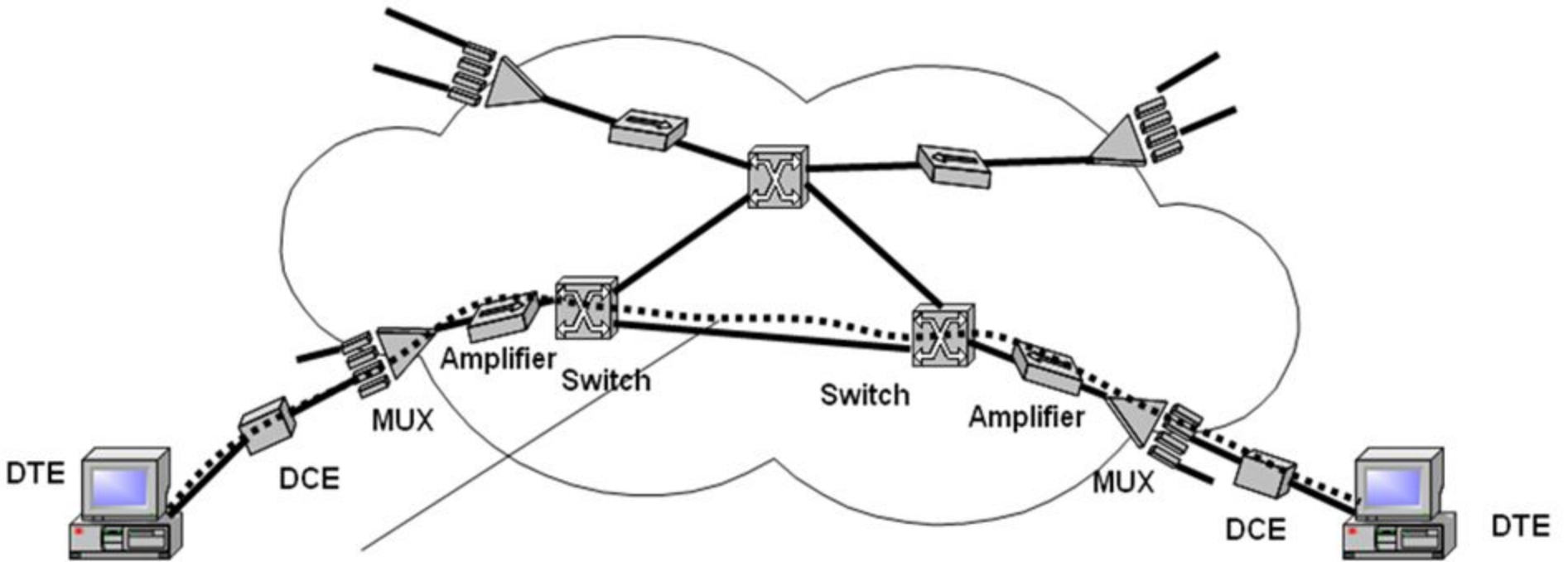
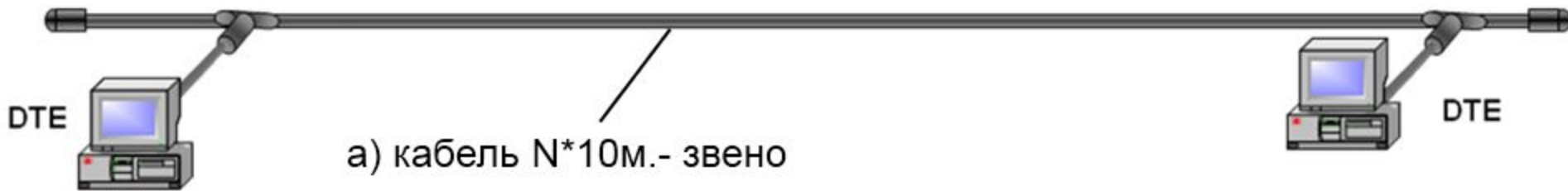


Рис. 3 - 05.1. Состав линии связи

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Физическая среда передачи данных

Физическая среда передачи данных может представлять набор проводников, по которым передаются сигналы.

На основе таких проводников строятся проводные (воздушные) или кабельные линии связи (рис. 3 - 05.2).

Проводные (воздушные) линии связи представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе, закрепленные на изоляторах.

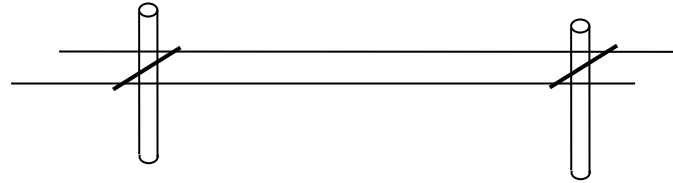
Кабельные линии состоят *из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции:* электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической.

*В компьютерных сетях применяются три основных типа кабеля:* кабели на основе скрученных пар медных проводов (Unshielded Twisted Pair, UTP) и экранированная витая пара (Shielded Twisted Pair, STP), коаксиальные кабели с медной жилой, а также волоконно-оптические кабели.

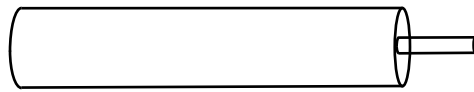
Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

Тема 3 - 05. Типы линий связи

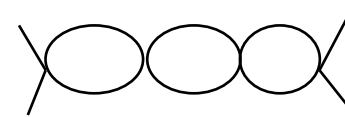
Проводные (воздушные)



Кабельные



Коаксиал



Витая пара



Оптическое волокно

Рис. 3 - 05.2. Типы сред передачи данных

# Беспроводная среда передачи данных

Радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн.

Диапазоны коротких, средних и длинных волн (КВ, СВ и ДВ). По типу метода модуляции сигнала - это диапазоны амплитудной модуляции (Amplitude Modulation, AM), обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных.

Более скоростными являются каналы, работающие на диапазонах ультракоротких волн (УКВ), для которых характерна частотная модуляция (Frequency Modulation, FM), а также диапазонах сверхвысоких частот (СВЧ или microwaves). Для передачи данных также используются диапазоны ультра высоких частот (Ultra High Frequency, UHF), называемые еще диапазонами микроволн (свыше 300 МГц). В диапазоне СВЧ (свыше 4 ГГц) сигналы уже не отражаются ионосферой Земли и для устойчивой связи требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником. Поэтому такие частоты используют либо спутниковые каналы, либо радиорелейные каналы, где это условие выполняется.

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Типы линий связи

### Радиоканалы наземной и спутниковой связи

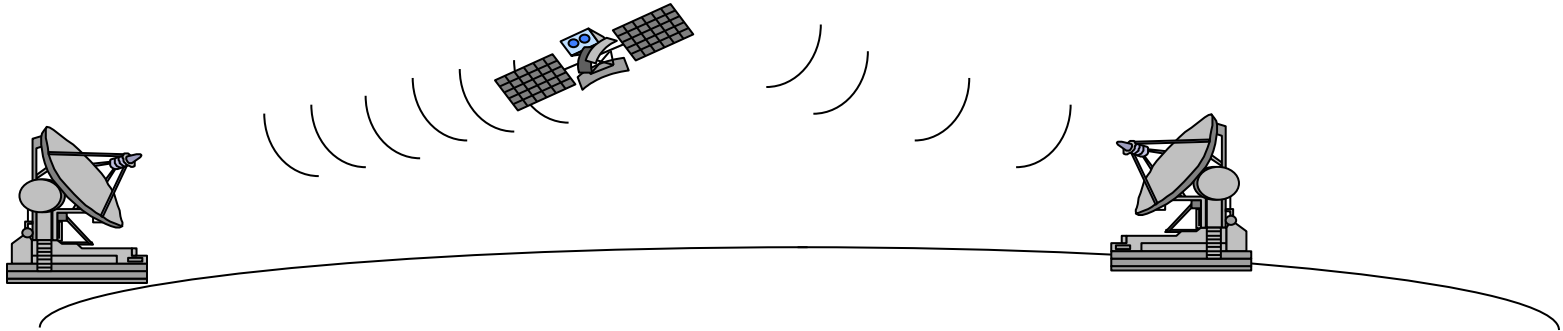


Рис 3 - 05.3 – Радиоканалы наземной и спутниковой связи  
Радиорелейные (СВЧ) каналы

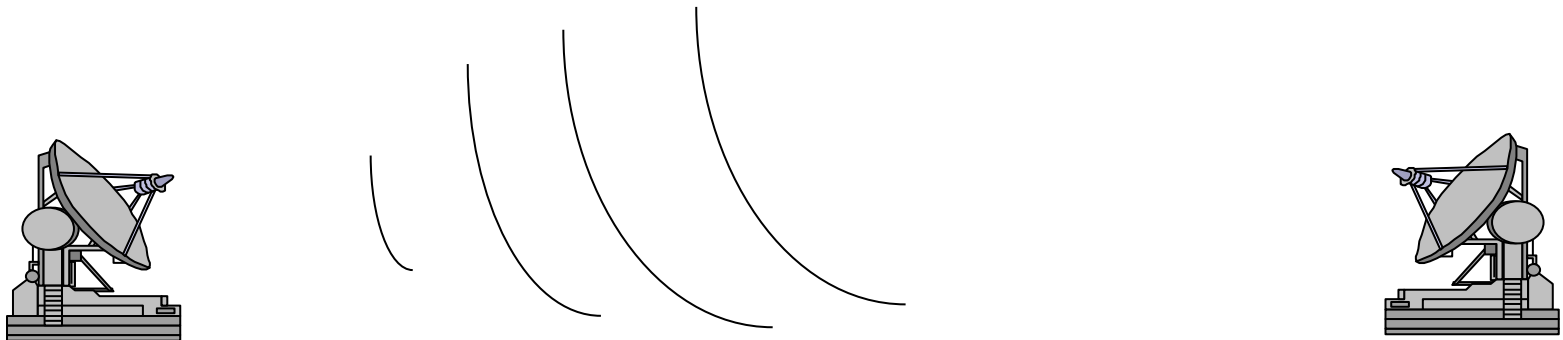


Рис 3 - 05.4 – Радиорелейные (СВЧ) каналы

# Тема 3 - 05. Физическая среда передачи данных. Беспроводная среда передачи данных

Радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн.

Диапазоны радиоволн									
Ультракороткие волны FM			Короткие волны AM	Средние волны AM	Длинные волны AM	Сверхдлинные волны			
Сантиметровые UHF	Дециметровые UHF	Метровые УКВ-СВЧ	Декаметровые КВ	Гектометровые СВ	Километровые ДВ	мираметровые	гектометровые	мегаметровые	декамегаметровые
3 - 30 ГГц	300 МГц - 3 ГГц	30 - 300 МГц	3 - 30 МГц	300 кГц - 3 МГц	30 - 300 кГц	3 кГц - 30 кГц	300 Гц - 3 кГц	30 - 300 Гц	3 - 30 Гц
10 - 100 мм	100 мм - 1 м	1 - 10 м	10 - 100 м	100 м - 1 км	1 - 10 км	10 - 100 км	100 км - 1 Мм	1 - 10 Мм	10 - 100 Мм



# Тема 3 - 05. Физическая среда передачи данных. Беспроводная среда передачи данных

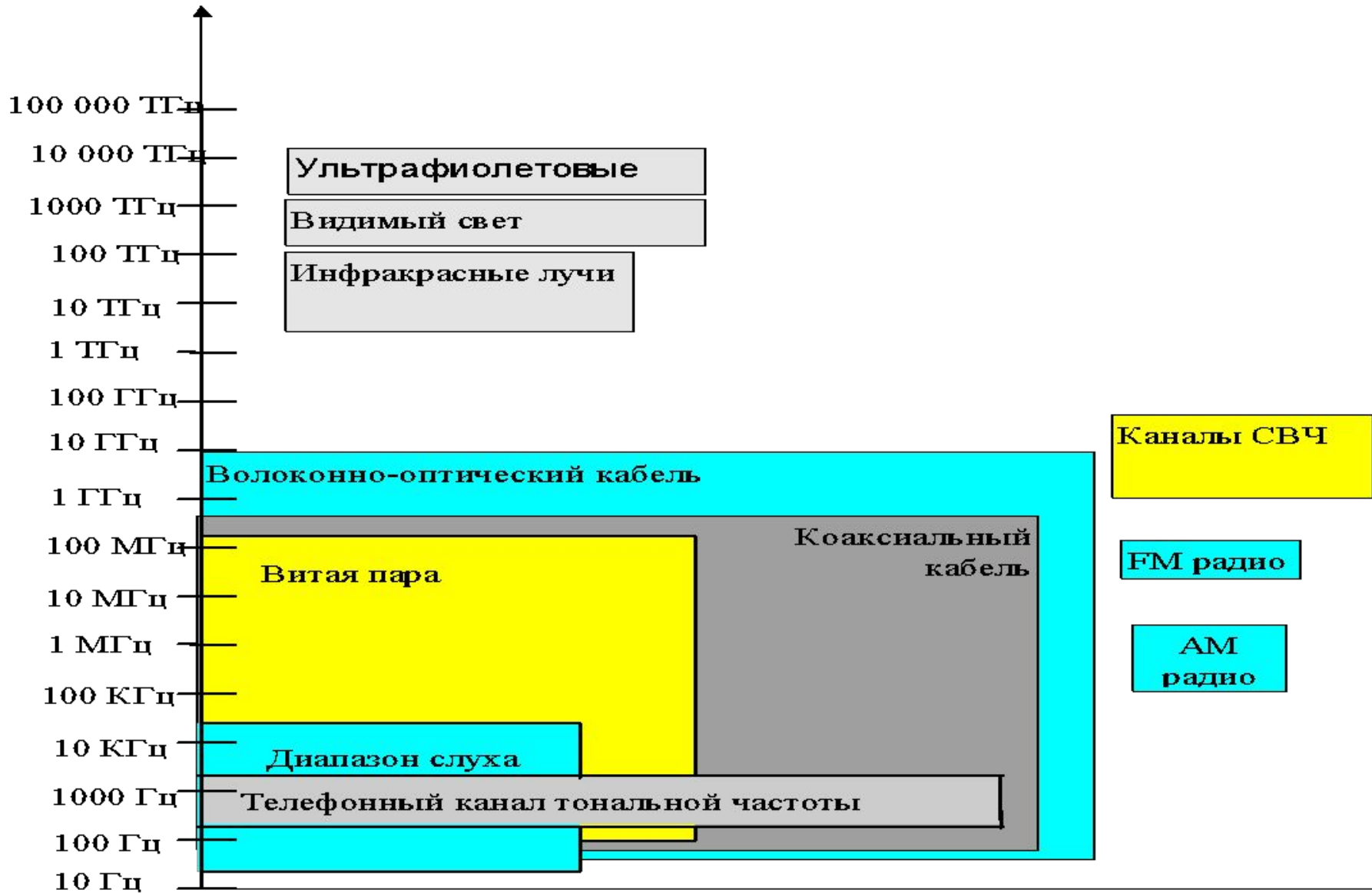


Рис.3 - 05.4 Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны

## Тема 3 - 05. Физич. среда передачи данных. Аппаратура

передачи д-х

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных.

Хорошие возможности предоставляют волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), обладающие широкой полосой пропускания и низкой чувствительностью к помехам.

На ВОЛС сегодня строятся как *магистралы крупных территориальных и городских сетей, так и высокоскоростные локальные сети.*

Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется *отличным отношением качества к стоимости, а также простотой монтажа.*

Беспроводные каналы используются чаще всего в тех случаях, когда кабельные линии связи применить нельзя — например, при *прохождении канала через малонаселенную местность или же для связи с мобильными пользователями сети.*

## Тема 3 - 05. Аппаратура передачи данных

- 1. Аппаратура передачи данных** (АПД или DCE - Data Circuit terminating Equipment) в компьютерных сетях непосредственно присоединяет компьютеры или коммутаторы к линиям связи и является, таким образом, пограничным оборудованием. (Рис 3-05.5) Примерами DCE являются модемы (для телефонных линий), терминальные адаптеры сетей ISDN, устройства для подключения к цифровым каналам первичных сетей DSU/CSU (Data Service Unit/Circuit Service Unit).
2. К аппаратуре передачи данных, подключается аппаратура пользователя линии связи- ПК или терминал, вырабатывающая данные для передачи по линии связи. Эта аппаратура, носит название **Оконечное Оборудование данных** (ООД или DTE - Data Terminal Equipment). Примером DTE могут служить компьютеры коммутаторы локальных сетей или маршрутизаторы глобальных сетей.
- 3. Промежуточная аппаратура** обычно используется на линиях связи большой протяженности. У неё две основные задачи: 1) улучшение качества сигнала; 2) создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети. (Это мультиплексоры: PDH, SDH и пр.)

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Состав линии связи. Аппаратура передачи данных

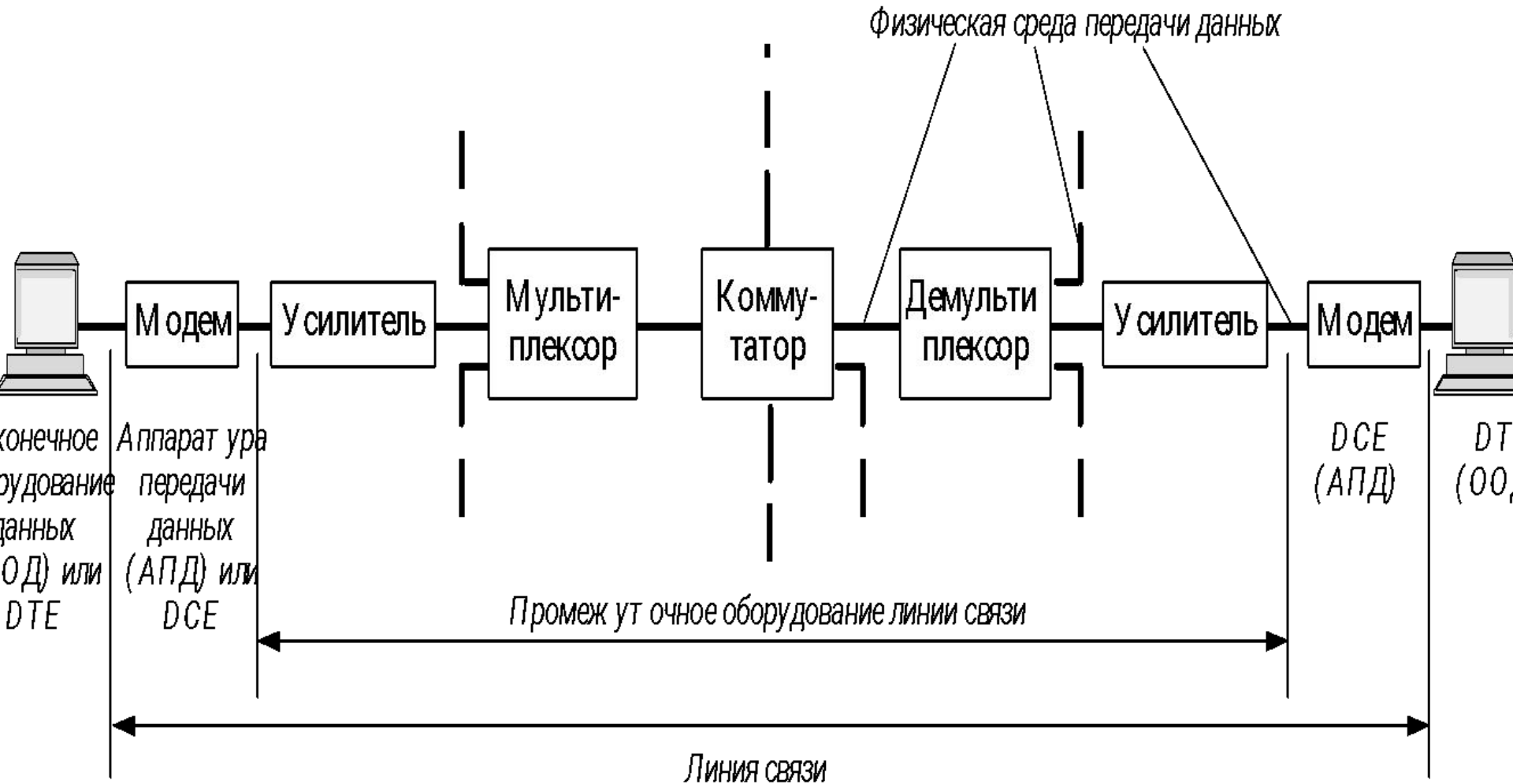


Рис 3-05.5 Аппаратура передачи данных.

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Аппаратура передачи данных

Мультиплексор – демultipлексор (MUX) позволяет в одном магистральном кабеле передать N-е количество (тысячи) телефонных низкоскоростных каналов.

В *аналоговых линиях* сигналы имеют непрерывный диапазон значений.

MUX при аналоговом подходе использует технику частотного мультиплексирования, частотного разделения (Frequency Division Multiplexing, FDM) и выполняет также функцию усиления и восстановления сигнала.

В цифровых линиях связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. В цифровых линиях связи используется специальная промежуточная аппаратура — регенераторы, которые улучшают форму импульсов и восстанавливают период их следования.

Промежуточная аппаратура мультиплексирования и коммутации первичных сетей работает по принципу временного мультиплексирования каналов (Time Division Multiplexing - TDM)

## Тема 3 - 05. Характеристики линий связи [Л.1 с.233-240]

- Пропускная способность
- Достоверность передачи данных
- Амплитудно-частотная характеристика
- Полоса пропускания
- Затухание
- Помехоустойчивость
- Перекрестные наводки на ближнем конце линии (NEXT)
- Удельная стоимость

**Пропускная способность** – это скорость битового потока, передаваемого линией связи, измеряется в битах в секунду (бит/с), килобит/с-kbit/s, мегабит/с-Mb/s, гигабит/с-Gb/s. (степень  $10^N$ ) Пропускная способность зависит от полосы пропускания линии и способа кодирования дискретной информации.

*Пропускная способность и достоверность* - это характеристики как линии связи, так и способа передачи (протокола) данных. Выбор способа передачи (протокола) зависит от таких характеристик, как **полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость.**

## Тема 3 - 05. Спектральный анализ сигналов на линиях связи

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее реакций на некоторые эталонные воздействия в основном синусоидальные сигналы. Практически сигнал любой формы можно разложить на ряд синусоидальных сигналов, применяя функции ряда Фурье.

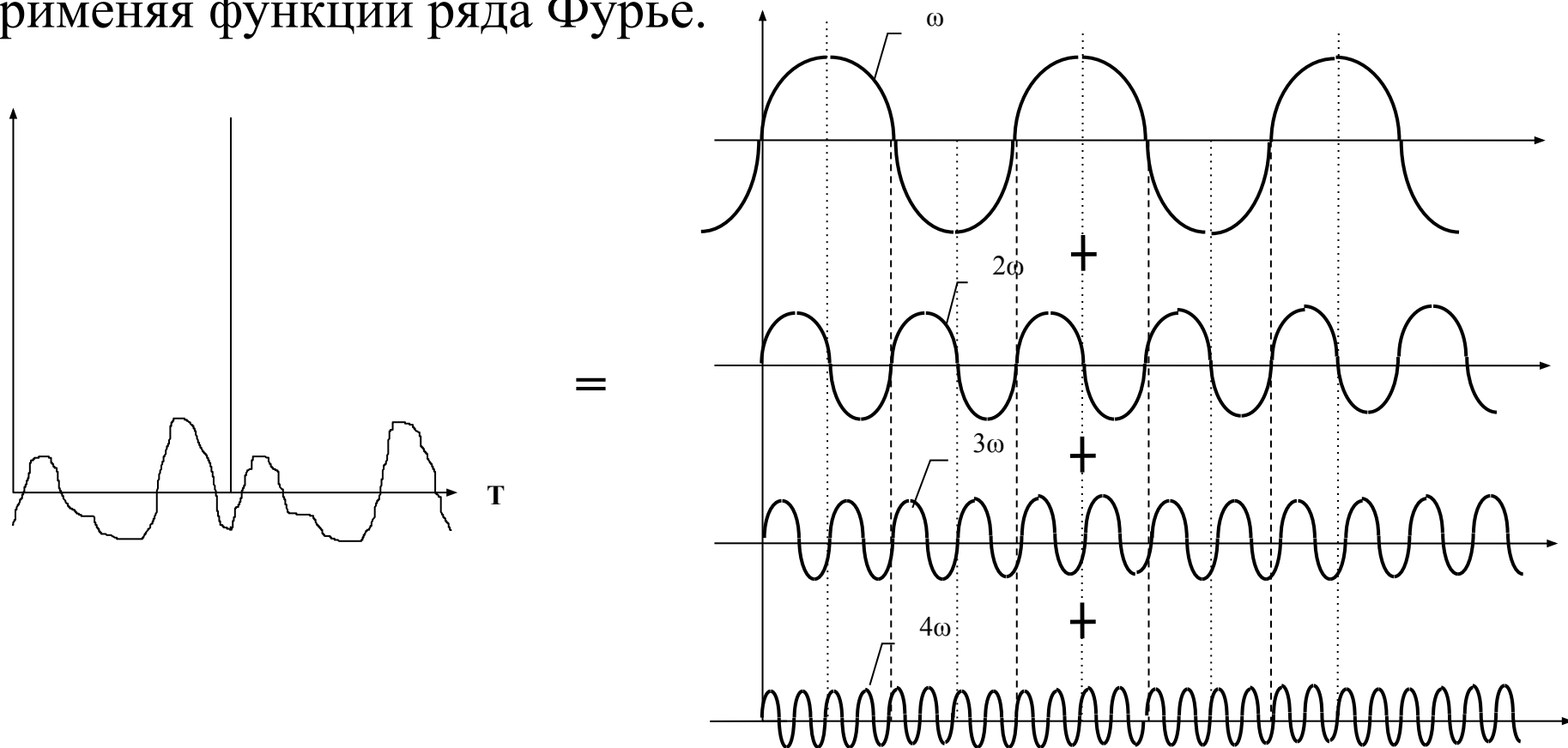


Рис. 3 - 05.6. Представление периодического сигнала суммой синусоид

## Тема 3 - 05. Спектральный анализ сигналов на линиях связи

**Спектр сигнала** – это результат разложения **сигнала** на простые синусоидальные сигналы (гармоники), с помощью преобразования в ряд Фурье.

Для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды, спектр легко вычисляется на основании формул Фурье. Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов - спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране или распечатывают их на принтере.

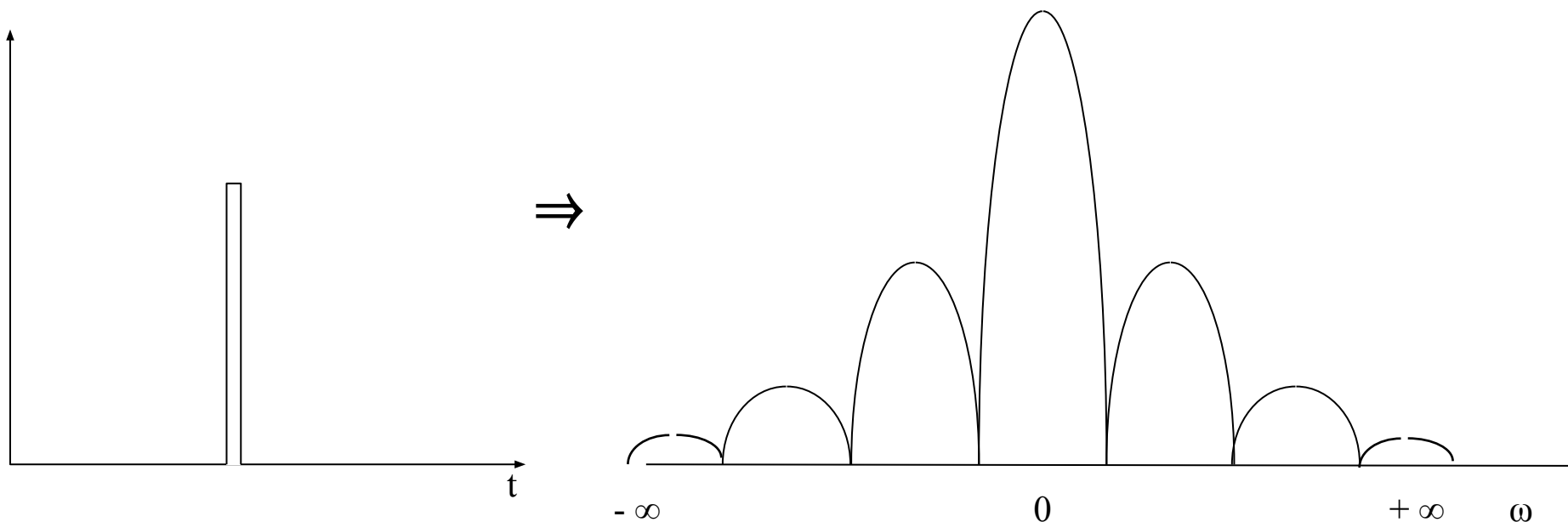


Рис. 3 - 05.7. Спектральное разложение идеального импульса (d-функция)



## Тема 3 - 05. Искажение сигналов на линиях связи

При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму (рис. 3 - 05.5). Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

Медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузки. В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному.

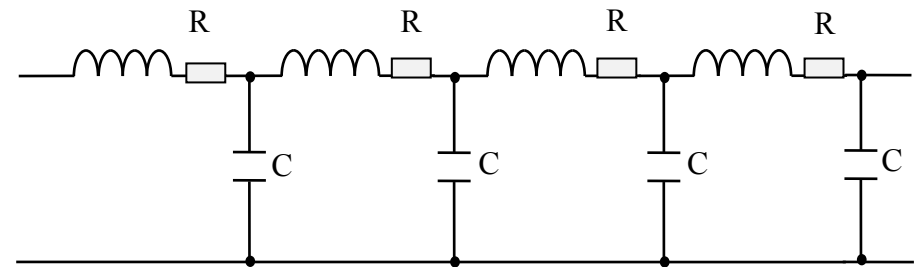
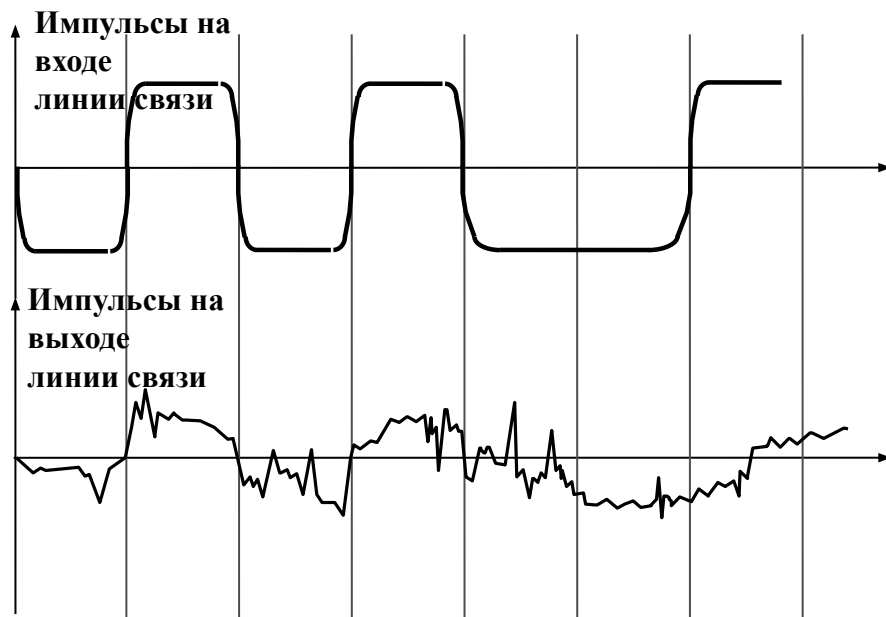


Рис. 3 - 05.9. Представление линии

# Тема 3 - 05. Амплитудно – частотная характеристика

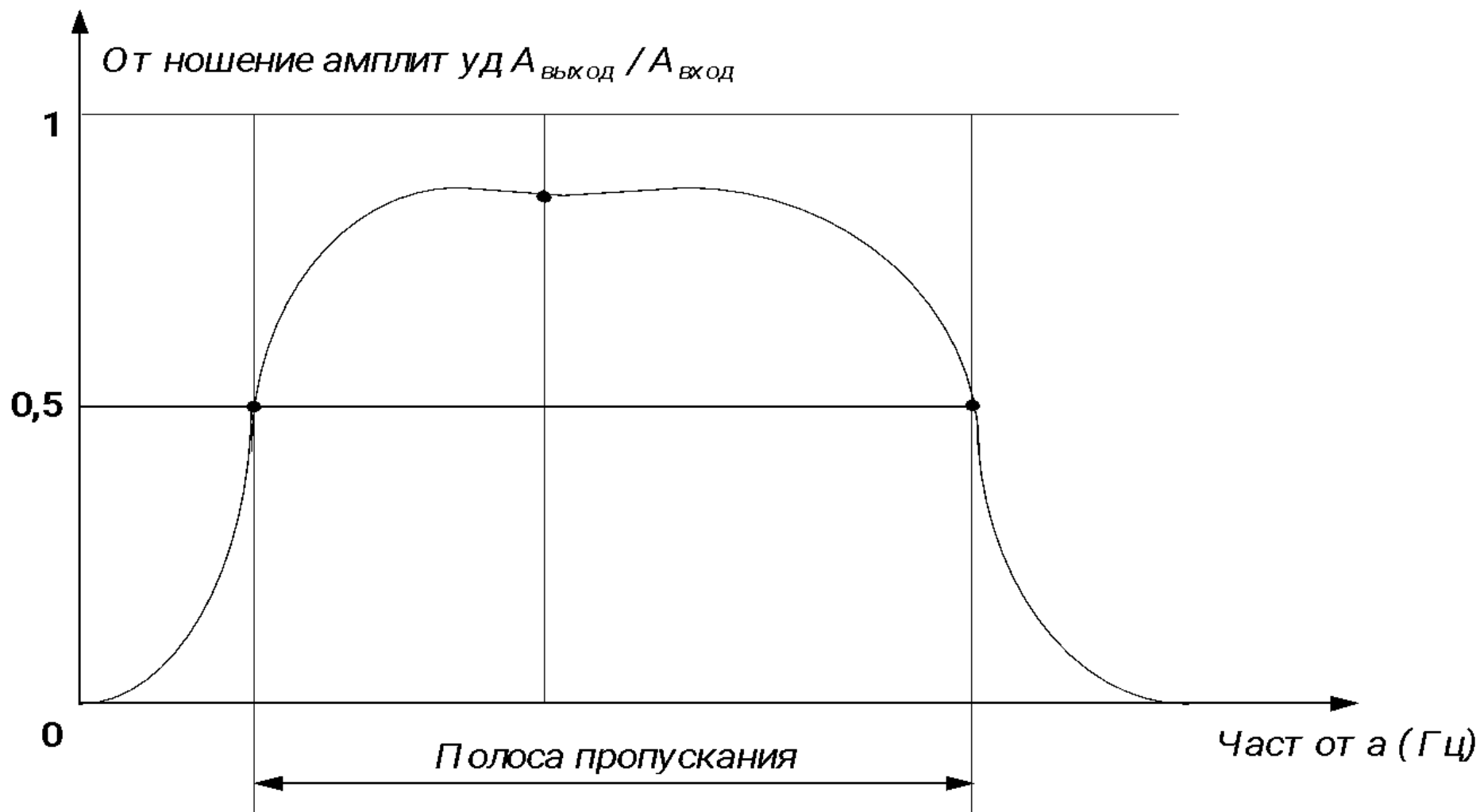


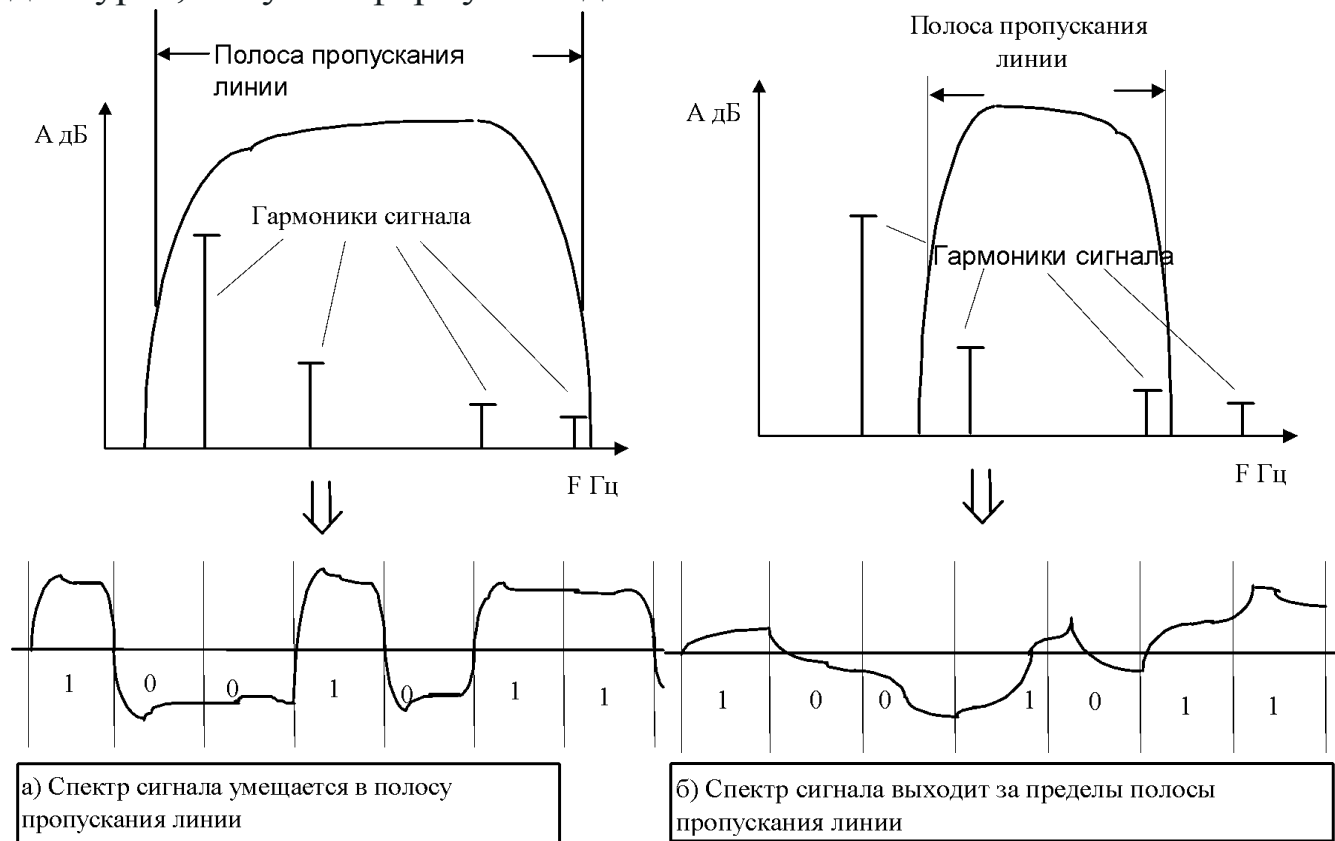
Рис. 3 - 05.10. Зависимость затухания от частоты

# Тема 3 - 05. Амплитудно – частотная характеристика

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как амплитудно - частотная характеристика, полоса пропускания и затухание на определенной частоте.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) (рис.3 - 05.10) показывает, как затухает амплитуда/мощность синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой/мощностью на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. С помощью АЧХ можно определить форму выходного сигнала. Для этого, зная форму входного сигнала, определяют его спектр и далее, используя АЧХ вычисляют гармоники выходного сигнала. Складывая полученные гармоники, согласно ряда Фурье, получим форму выходного сигнала.

Рис 3 - 05.11  
Соответствие  
между  
полосой  
пропускания  
линии связи и  
спектром  
сигнала



## Тема 3 - 05. Полоса пропускания (bandwidth)

Полоса пропускания (bandwidth) - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений.

*Ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи.*

### Основные параметры физической линии

Связь между полосой пропускания линии и ее пропускной способностью вне зависимости от принятого способа физического кодирования установил Клод Шеннон:

Пропускная способность -  $C$  (бит/с) - максимально возможное число бит информации, которые могут быть переданы в секунду

$$C(\text{бит/с}) = F \times \log_2(1 + P_c/P_m), \text{ где}$$

$F$  - полоса пропускания (Гц)

Ряд типовых значения пропускной способности (bandwidth) линий связи вычислительных сетей: 2400, 4800, 9600, 14400, 28800, 33600 б/с

56, 64 Кб/с; 1.544, 2.048, 10, 16, 34, 45, 155, 622 Мб/с

## Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

**Пропускная способность (throughput)** линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Измеряется в бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

Единицы измерения, как ***килобит, мегабит или гигабит***, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит - это 1000 бит, а мегабит - это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к этим числам степеням 2.

**Абсолютный уровень мощности**, например уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт.

Таким образом, уровень мощности  $P$  вычисляется по следующей формуле:

$$P = 10 \log_{10} (P / 1\text{мВт}) [\text{дБм}],$$

где  $P$  - мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) - это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

**Затухание** (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты.

Т. о., затухание представляет собой одну точку из амплитудно-частотной характеристики линии. Затухание  $A$  обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}),$$

где  $P_{\text{out}}$  ~ мощность сигнала на выходе линии,  $P_{\text{in}}$  - мощность сигнала на входе линии. Затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

## Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

**Волновое сопротивление** - важный параметр медной линии связи, представляющее собой полное (комплексное) сопротивление, которое встречает электромагнитная волна определенной частоты при распространении вдоль однородной цепи. Волновое сопротивление измеряется в Омах и зависит от таких параметров линии связи, как активное сопротивление, погонная индуктивность и погонная емкость, а также от частоты самого сигнала.

Выходное сопротивление передатчика должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии.

**Помехоустойчивость линии** определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии.

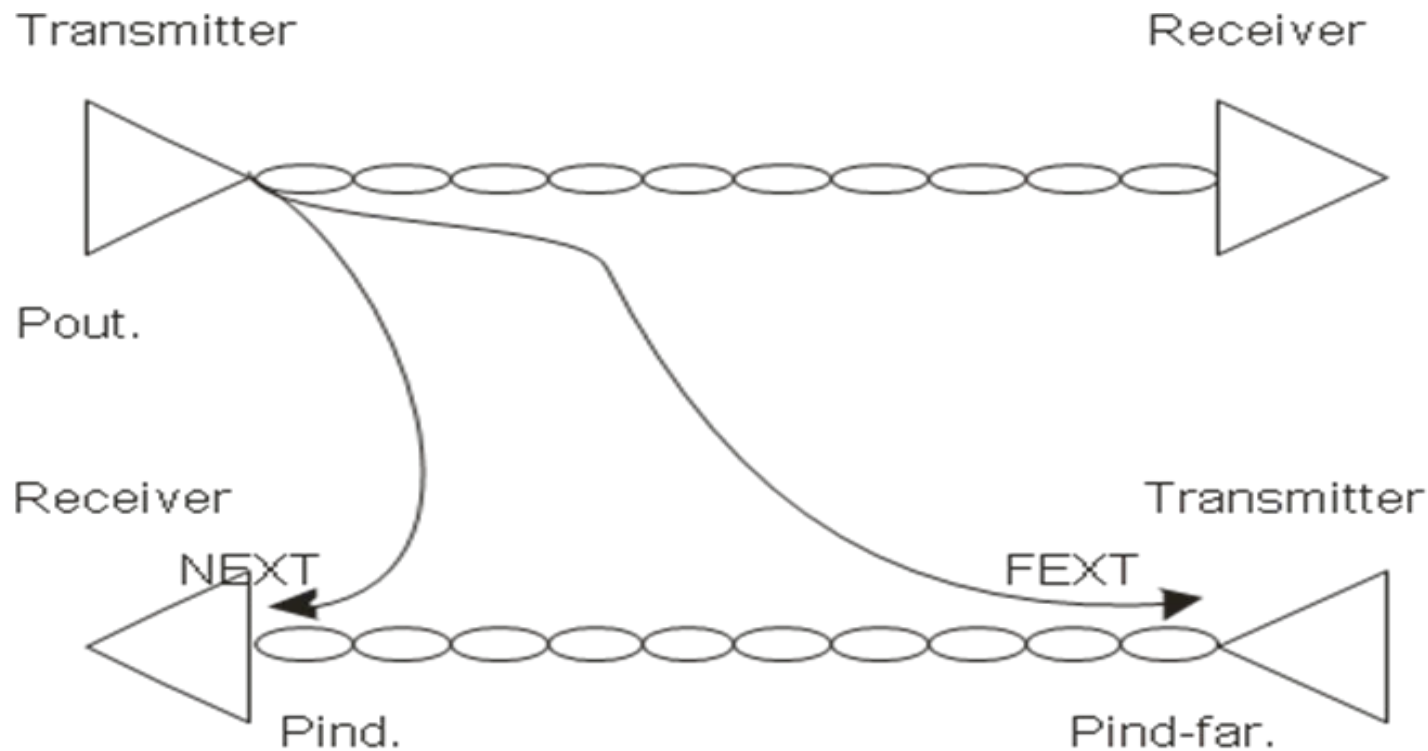
*Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной - волоконно-оптические линии, малочувствительные ко внешнему электромагнитному излучению.*

**Перекрестные наводки на ближнем конце** (Near End Cross Talk - NEXT) определяют помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех, когда электромагнитное поле сигнала, передаваемого выходом передатчика по одной паре проводников, наводит на другую пару проводников сигнал помехи.

$$\text{NEXT} = 10 \log(P_{\text{ind}}/P_{\text{out}}), \text{ где}$$

$P_{\text{out}}$  - мощность выходного сигнала на одной паре,  $P_{\text{ind}}$  - мощность наведенного сигнала на другой пар

Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей» Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии



$P_{out.}$  — мощность сигнала на выходе передатчика  
 $P_{ind.}$  — induced signal power на ближнем конце кабеля  
 $P_{ind-far.}$  — induced signal на дальнем конце кабеля

Рис.3 - 05.12. Переходное затухание

## Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

Перекрестные наводки на дальнем конце (*Far End Cross Talk, FEXT*) позволяют оценить устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля.

$$FEXT = 10 \log(P_{\text{ind-far}}/P_{\text{out}}), \text{ где}$$

$P_{\text{out}}$  - мощность выходного сигнала на одной паре,

$P_{\text{ind-far}}$  - мощность наведенного сигнала на другой паре на противоположном конце кабеля (Рис 3 - 05.12)

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях используется передача данных одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стал применяться показатель *PowerSUM*, являющийся модификацией показателя NEXT. Этот показатель отражает суммарную мощность перекрестных наводок от всех передающих пар в кабеле.

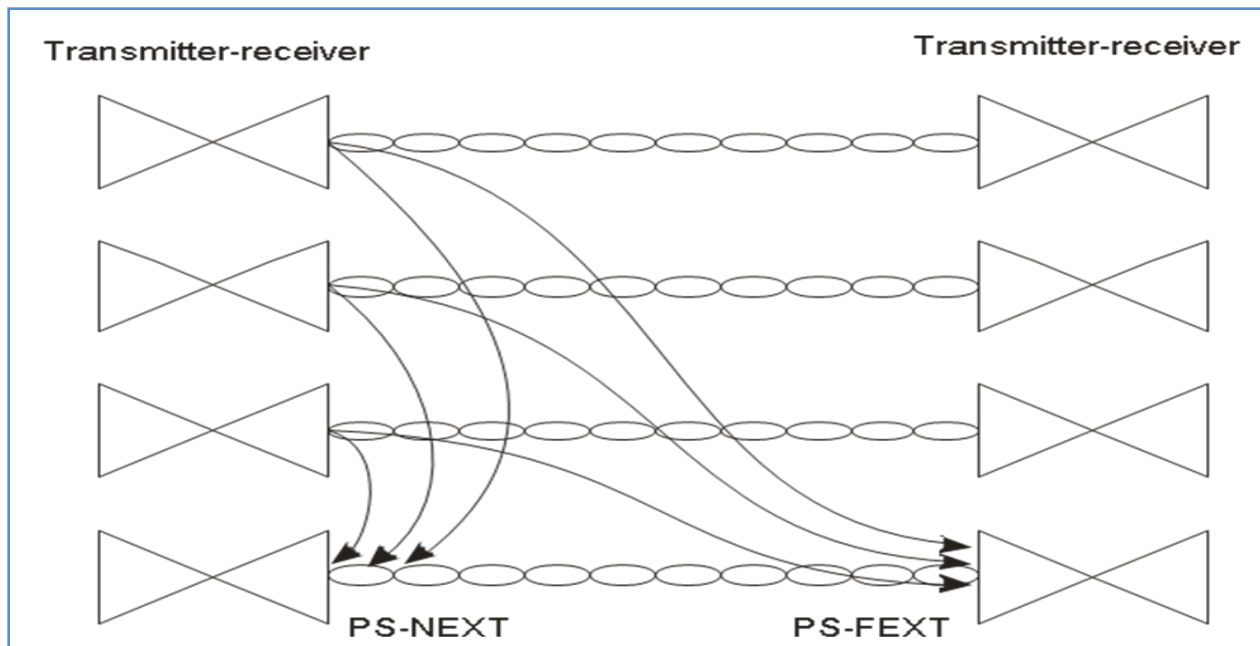


Рис. 3 - 05.12.  
Суммарное  
переходное  
затухание



## Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

Еще одним практически важным показателем является защищенность кабеля (**Attenuation/Crosstalk Ratio, ACR**). Защищенность определяется как разность между уровнями полезного сигнала и помех. Чем больше значение защищенности кабеля, тем в соответствии с формулой Шеннона с потенциально более высокой скоростью можно передавать данные, поэтому кабелю.

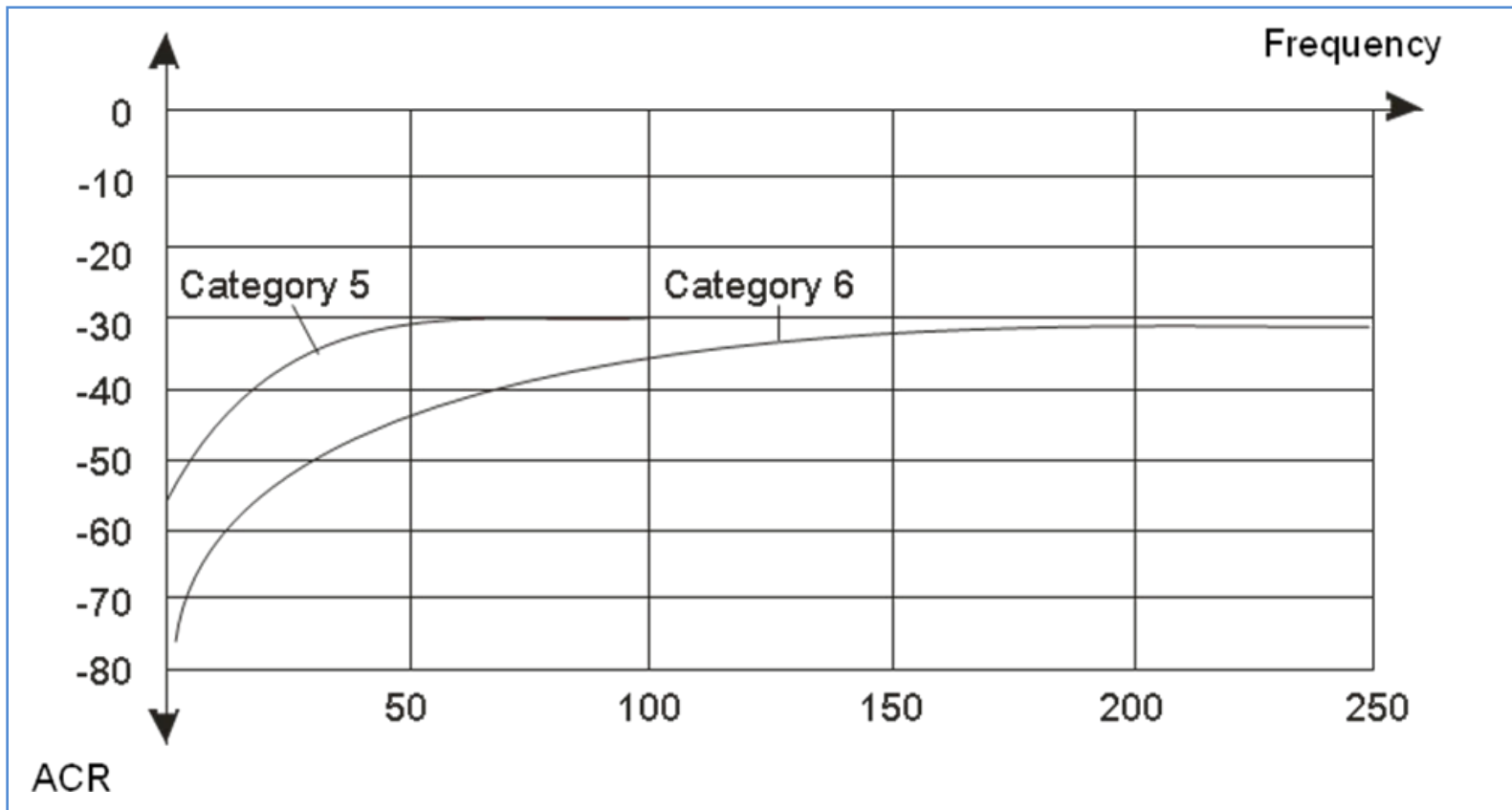


Рис. 3 - 05.14. Защищенность витой пары

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных.

Иногда этот же показатель называют интенсивностью битовых ошибок (***Bit Error Rate, BER***). Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило,  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$ , в оптоволоконных линиях связи -  $10^{-9}$ .

*Значение достоверности передачи данных, например, в  $10^{-4}$  говорит о том, что в среднем из 10000 бит искажается значение одного бита.*

### ***Достоверность передачи данных:***

вероятность искажения бита данных ( $10^{-3}$  ÷  $10^{-9}$  без дополнительных средств,  $10^{-9}$  - оптоволокно)

### ***Удельная стоимость линии:***

затраты на создание 1 км линии - от \$0.4 до \$8

### ***Помехоустойчивость линии:***

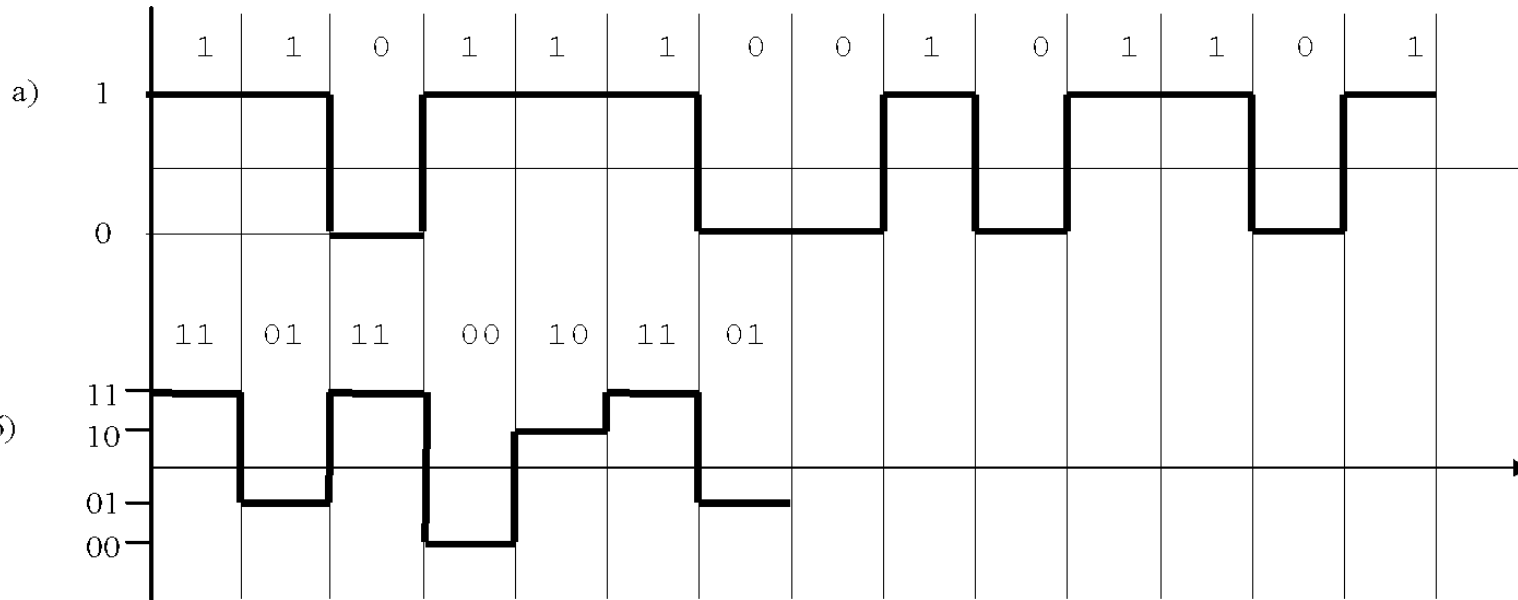
определяется мощностью шумов, создаваемых в линии внешней средой и возникающих в самой линии

**Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»** Тема 3 - 05. Основные параметры физической линии

**Формула Найквиста  $C = 2 * \text{Log}_2 M$ , где**

M - количество состояний одного элемента данных

а) сигнал имеет 2 состояния;



б) сигнал имеет 4 состояния

Рис. 3 - 05.15. Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала

## Тема 3 - 05. Типы кабелей

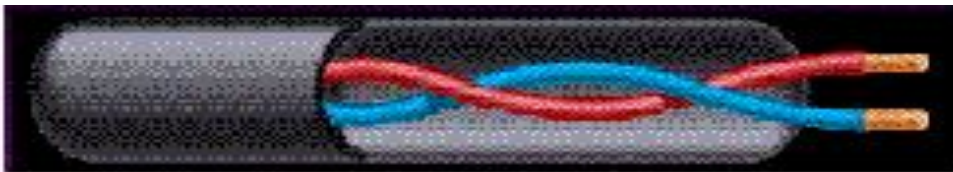


Рис. 3 - 05.16 Витая пара

**Кабель на основе неэкранированной витой пары**, используемый для проводки внутри здания, разделяется в международных стандартах на *категории* (от 1 до 7):

- Кабели *категории 1* применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 Кбит/с) передачи данных.
- Кабели *категории 2* были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории — способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.
- Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную помехоустойчивость и низкие потери сигнала. Используются редко.
- Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство высокоскоростных технологий (Fast Ethernet, ATM и Gigabit Ethernet) ориентируются на использование витой пары категории 5. Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3 и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с волоконно-оптическим).

## Тема 3 - 05. Типы кабелей

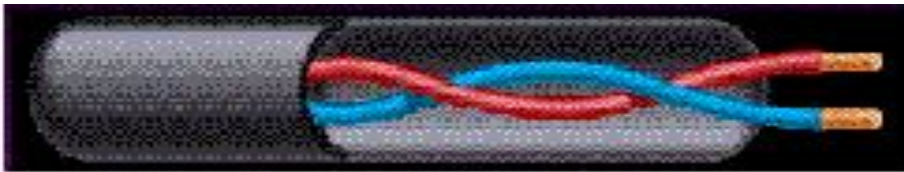


Рис. 3 - 05.16 Витая пара

- Особое место занимают кабели *категорий 6 и 7*, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 250 МГц, а для кабелей категории 7 - до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей - поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5.

Экранированная витая пара хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитные колебания вовне, что, так же является положительным.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары для применения внутри зданий, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы от 1 до 9 включительно.

## Тема 3 - 05. Типы кабелей



Рис.3 - 05.17 Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель состоит из несимметричных пар проводников. Каждая пара представляет собой внутреннюю медную жилу и соосную с ней внешнюю жилу, которая может быть полый медной трубой или оплеткой, отделенной от внутренней жилы диэлектрической изоляцией. Внешняя жила играет двойную роль - по ней передаются информационные сигналы и она является экраном, защищающим внутреннюю жилу от внешних электромагнитных полей.

### *Основные типы и характеристики коаксиальных кабелей.*

- *«Толстый»* коаксиальный кабель разработан для сетей Ethernet 10Base-5 с волновым сопротивлением 50 Ом и внешним диаметром около 12мм- 0,5дюйма. Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм. который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10МГц — не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать — он плохо гнется.
- *«Тонкий»* коаксиальный кабель предназначен для сетей Ethernet 10Base-2. Обладая внешним диаметром около 50 мм. тонким внутренним проводником 0,89 мм., этот кабель не так прочен, как «толстый» коаксиал, зато обладает гораздо большей гибкостью, что удобно при монтаже. «Тонкий» коаксиальный кабель также имеет волновое сопротивление 50 Ом, но его механические и электрические характеристики хуже, чем у «толстого» коаксиального кабеля. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте

## Тема 3 - 05. Типы кабелей



Рис.3 - 05.17 Коаксиальный кабель

**Телевизионный кабель** с волновым сопротивлением 75 Ом широко применяется в кабельном телевидении. Существуют стандарты локальных сетей, позволяющие использовать такой кабель для передачи данных.

## Тема 3 - 05. Оптический кабель

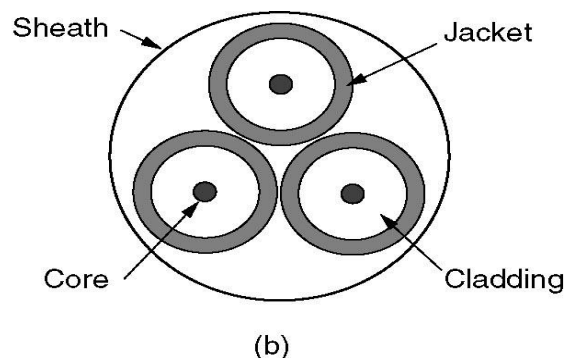
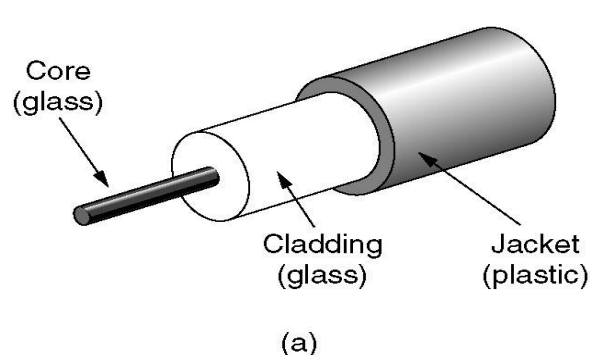


Рис 3 - 05.18  
Оптический  
кабель

**Волоконно-оптический кабель** состоит из тонких (5-60 микрон) гибких стеклянных волокон (волоконных световодов), по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля — он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех (в силу особенностей распространения света такие сигналы легко экранировать). Каждый световод состоит из центрального проводника света (сердцевины) — стеклянного волокна, и стеклянной оболочки, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки.



## Тема 3 - 05. Типы кабелей

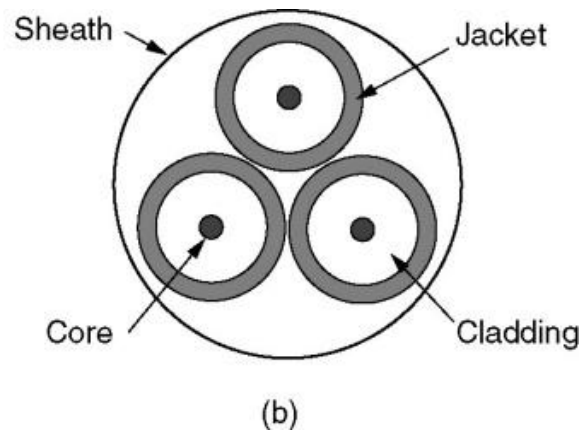
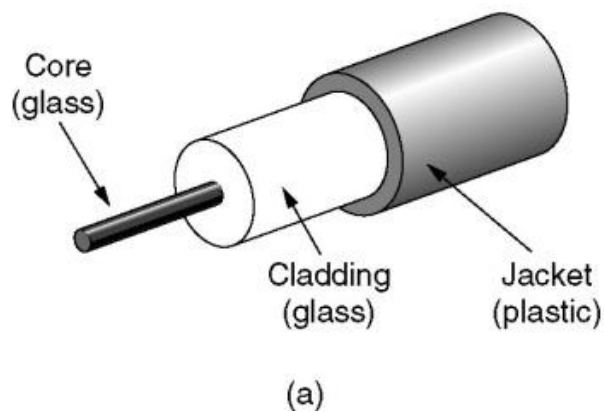


Рис 3 - 05.19  
Оптический  
кабель

**Волоконно-оптический кабель.** В зависимости от распределения показателя преломления и величины диаметра сердечника различают:

- ✓ многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис, 3 - 05.17. в);
- ✓ многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления (рис. 3 - 05.17. б);
- ✓ одномодовое волокно (рис. 3 - 05.17, в).

**Волоконно-оптический кабель** В одномодовом кабеле (Single Mode Fiber, SMP) используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света — от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Изготовление сверхтонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет собой сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим.



## Тема 3 - 05. Типы кабелей

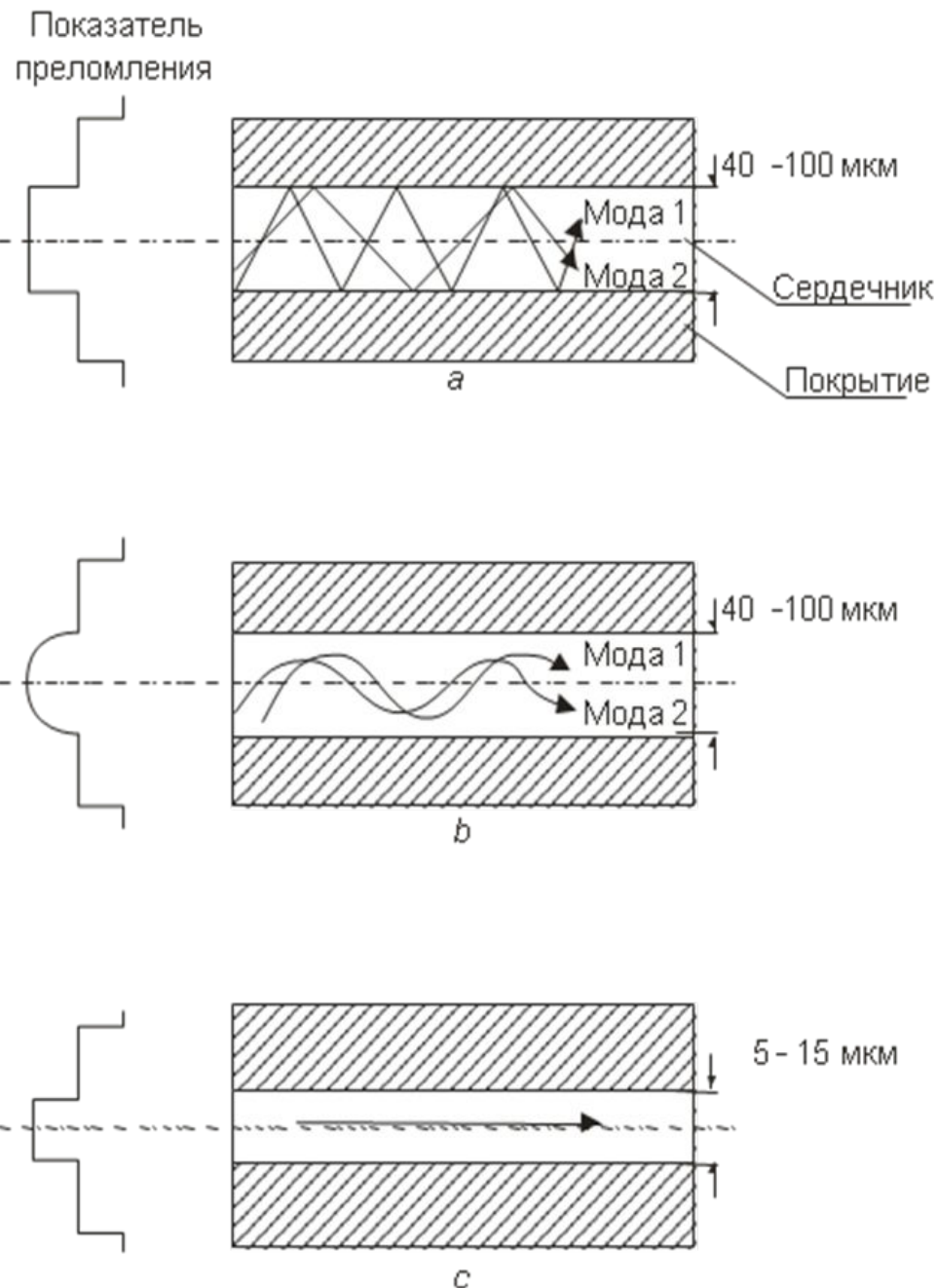


Рис 3 - 05.20 Многомодовый Оптический кабель

В многомодовых кабелях (Multi Mode Fiber, MMF) используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами.

## Тема 3 - 05. Типы кабелей

### Многомодовые кабели (Multi Mode Fiber, MMF).

Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим отражения лучей имеет сложный характер. Возникающая при этом интерференция ухудшает качество передаваемого сигнала, что приводит к искажениям передаваемых импульсов в многоголовом оптическом волокне. По этой причине технические характеристики многомодовых кабелей хуже, чем одномодовых.

**В результате многомодовые кабели используются в основном для передачи данных на скоростях не более 1 Гбит/с на небольшие расстояния (до 300-2000 м).**

Одномодовые кабели — для передачи данных со сверхвысокими скоростями в несколько десятков гигабит в секунду (а при использовании технологии DWDM — до нескольких теребит и секунду) на расстояния до нескольких десятков и даже сотен километров (дальняя связь).

В качестве источников света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- ✓ светодиоды или светоизлучающие диоды (Light Emitted Diode- LED);
- ✓ полупроводниковые лазеры, или лазерные диоды.

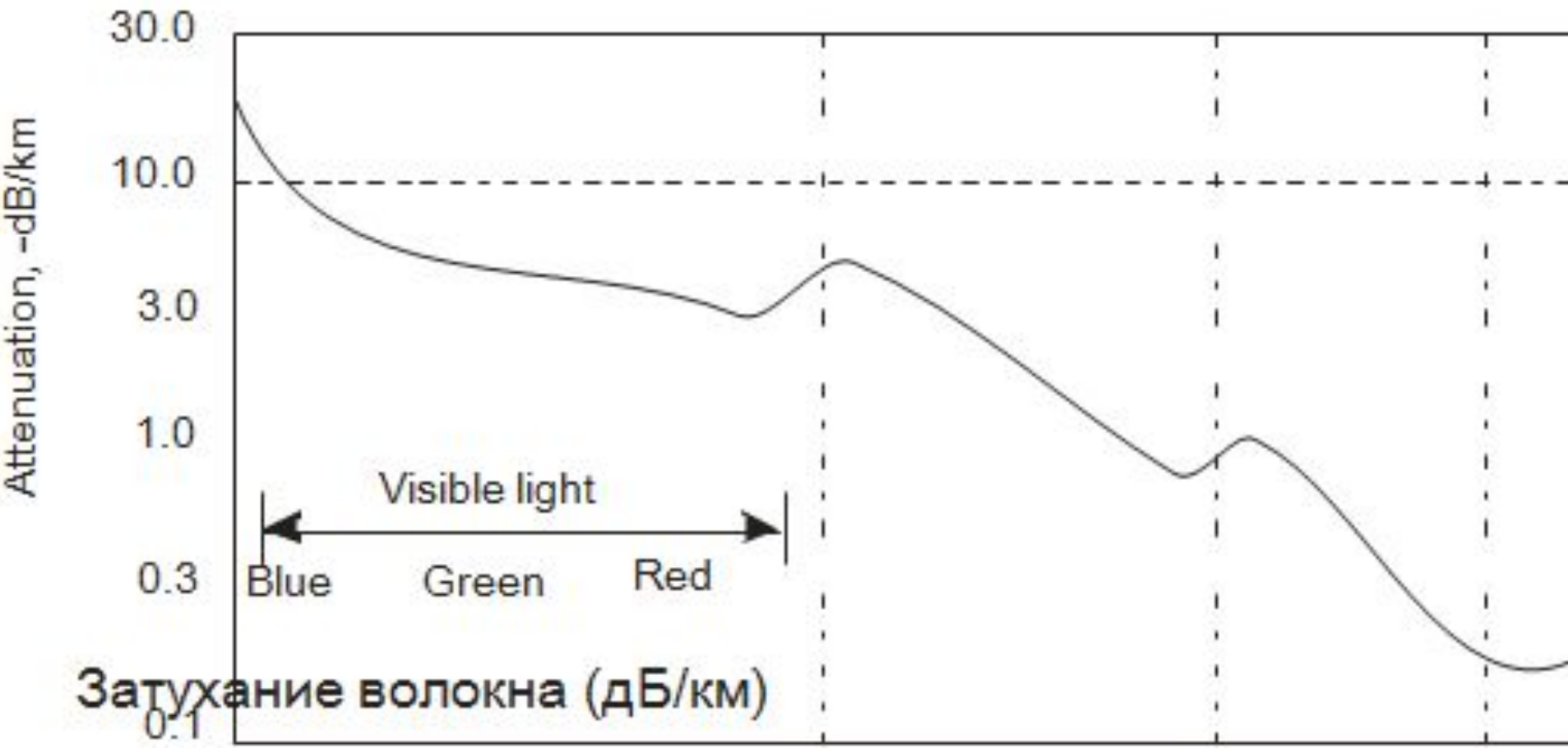
Для одномодовых кабелей применяются только лазерные диоды, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно.

Более дешевые светодиодные излучатели используются только для многомодовых кабелей.

# Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»

## Тема 3 - 05. Типы кабелей

Практически все оптические волокна имеют сложную зависимость затухания от длины волны, которая имеет три так называемых окна прозрачности (*850 нм, 1300 нм и 1550 нм* (соответственно *35 ТГц, 23 ТГц и 19,4 ТГц*)).



**Курс Лекций: «Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей»**  
**Тема 3 - 05. *Материалы и источники.***

***Литература***

- 1) Олифер В. Г. Олифер. Н. А. Компьютерные сети.**  
Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд.  
— СПб.: Питер, 2010. — 944 е.: ил.
- 2) Э. Таненбаум . Компьютерные сети. 4-е изд. /. — СПб.: Питер, 2003. — 992 с;**