



ITMO UNIVERSITY

# Введение в оптоинформатику

## Лекция 1

**Асеев Владимир Анатольевич, доцент Кафедры ОТиМ**

[aseev@oi.ifmo.ru](mailto:aseev@oi.ifmo.ru)

# Начало

В начале сотворил Бог небо и землю.

Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною, и Дух Божий носился над водою.

И сказал Бог: да будет свет. И стал свет.

И увидел Бог свет, что он хорош, и отделил Бог свет от тьмы.

И назвал Бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один.

# Введение

Информация - сведения о предметах, процессах и явлениях окружающего мира, передаваемые людьми устно, письменно или иным способом (напр., с помощью условных сигналов, технических средств и т. д.). С середины 20 века информация воспринимается более широко, как общенаучное понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом (напр., роботом), автоматом и автоматом; обмен сигналами в животном и растительном мире; передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму

Информатика наука о способах получения, накопления, хранения, преобразования, передачи, защиты и использования информации

# Введение: Закон Дерекса Прайса

## Закон Дерекса Прайса

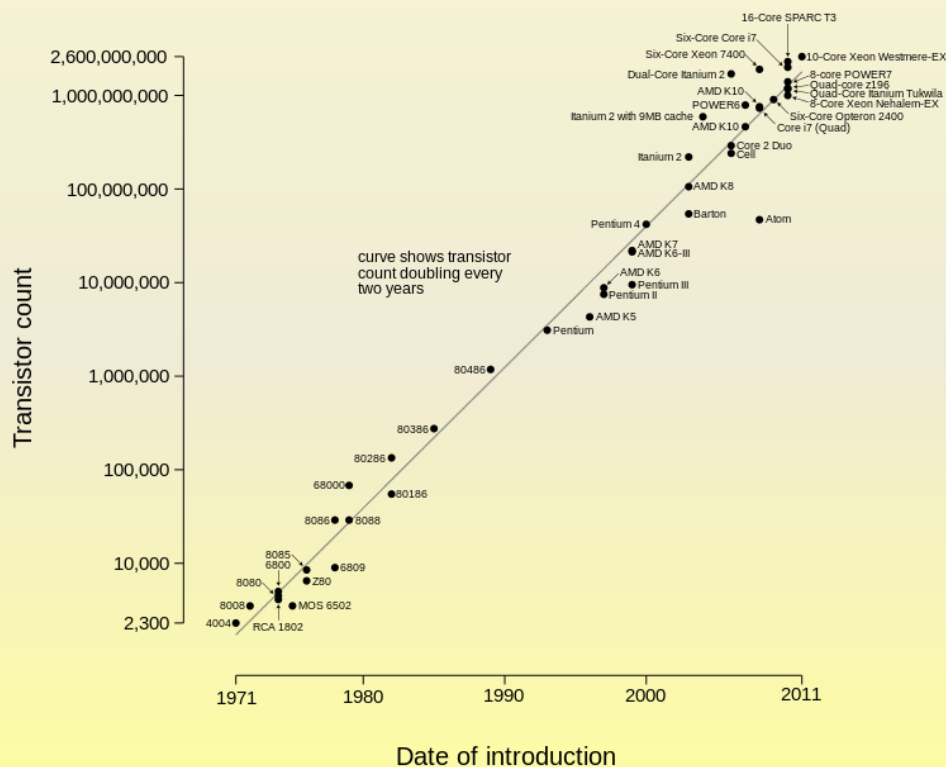
Первый в мире научный журнал появился в 1665 г., но их число стало непрерывно расти только с 1750 г., когда в Европе установилась регулярная почтовая связь. [...] кривая роста общего числа научных журналов, издаваемых во всех странах. Число научных журналов дано в логарифмическом масштабе; видно, что за последние триста лет их рост неизменно следует экспоненциальному закону

число научных работников и отпускаемые на научную работу средства тоже растут по тому же экспоненциальному закону, удваиваясь через каждые 10-15 лет

# Введение: Закон Мура

Количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



# Полоса пропускания

Полоса пропускания (прозрачности) — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) акустического, радиотехнического, оптического или механического устройства достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы

Ширина полосы пропускания - полоса частот, в пределах которой неравномерность частотной характеристики не превышает заданной.

Ширина полосы обычно определяется как разность верхней и нижней граничных частот участка АЧХ  $f_2 - f_1$ , на котором амплитуда колебаний равняется  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  или, что эквивалентно  $1/2$  для мощности) от максимальной. Этот уровень приблизительно соответствует  $-3$  дБ.



# Полоса пропускания

Любой сигнал имеет ограничение в связи с распределенной пропускной способностью по закону Пуассона.

$$g(t) = 0.5 * c + \sum a_n \sin(2\pi nft) + \sum b_n \cos(2\pi nft)$$

$f$  – частота

$a_n, b_n$  – амплитуды  $n$ -ой гармоники

$t$  – время передачи сигнала

$g(t)$  – определенное ограничение на пропускную способность.

Коэффициенты гармоники могут быть получены через амплитуду сигнала. При этом скорость передачи информации зависит от способа кодирования и скорости изменения кодирования. Скорость передачи ограничена максимальной частотой.

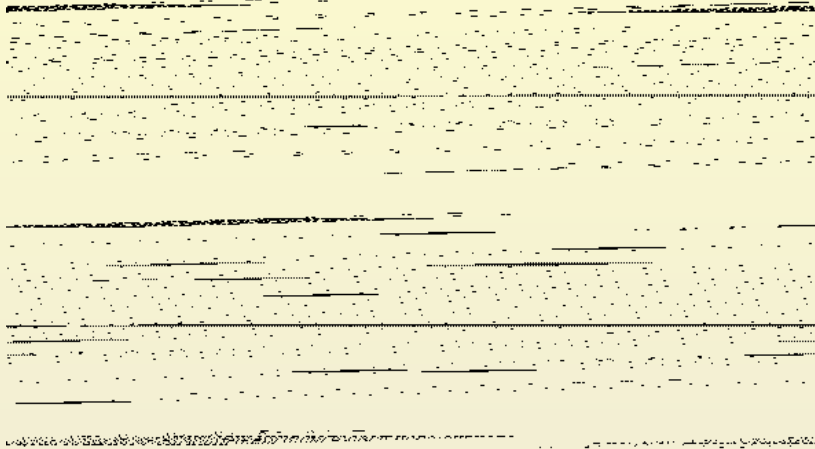
# Основы передачи данных

- Все виды информации могут быть представлены в виде электромагнитных сигналов (ЭМС) аналоговых или цифровых
- Любой ЭМС имеет спектр (ширина, частотный диапазон, форма спектра)
- Основная проблема - ухудшение сигнала при передаче (потеря энергии, искажение формы, шумы)
- Основные характеристики систем передачи данных - полоса пропускания, скорость передачи для цифровых данных, уровень шума, уровень ошибок при передаче





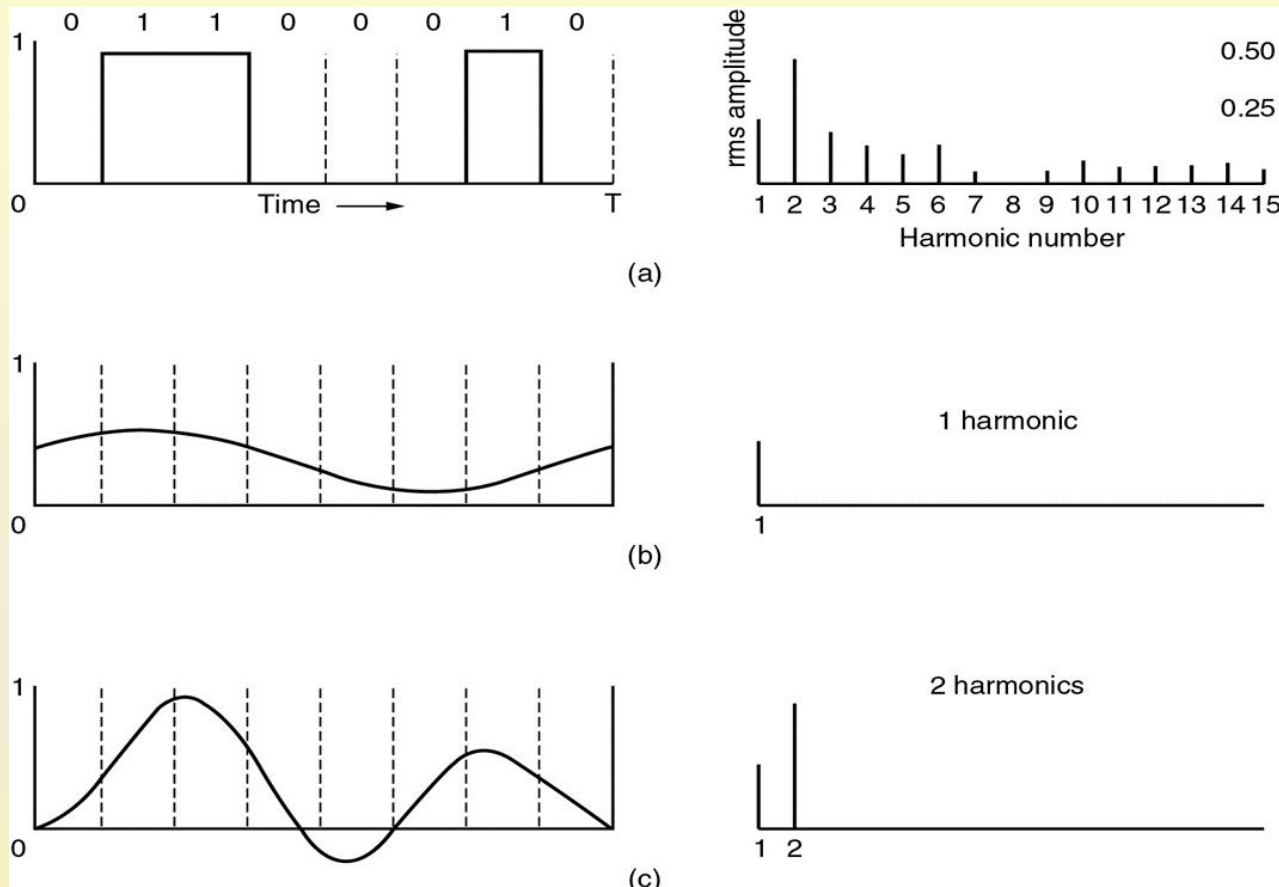
# Непрерывный сигнал и дискретный



$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ix\omega} dx.$$

Согласно преобразованию Фурье, любая непрерывная величина описывается множеством наложенных друг на друга волновых процессов, называемых гармониками. Гармоники это функции вида  $A\sin(\omega t + \varphi)$ , где  $A$  – амплитуда,  $\omega$  – круговая частота,  $t$  – время и  $\varphi$  – фаза. Преобразование Фурье переводит временное представление сигналов в их частотное представление – спектр. Любые технически реализуемые сигналы имеют ограниченный сверху спектр частот, характеризуемый граничной частотой, в пределах которой сосредоточено около 90% энергии сигнала.

# Сигнал как функция частоты



Двоичный сигнал и его среднеквадратический амплитудный спектр  
 (b) – (c) Аппроксимация исходного сигнала

# Сигнал как функция частоты

| Скорость, бит/с | Длительность 8-битного сигнала, мс | Первая гармоника ряда Фурье, Гц | Число гармоник, проходящих через канал T0 шириной 3100 Гц |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 300             | 26.67                              | 37.5                            | 80  |
| 600             | 13.33                              | 75                              | 40  |
| 1200            | 6.67                               | 150                             | 20  |
| 2400            | 3.33                               | 300                             | 10  |
| 4800            | 1.67                               | 600                             | 5   |
| 9600            | 0.83                               | 1200                            | 2   |
| 19200           | 0.42                               | 2400                            | 1   |
| 38400           | 0.21                               | 4800                            | 0   |

Скорость передачи в коде ASCII и гармоники

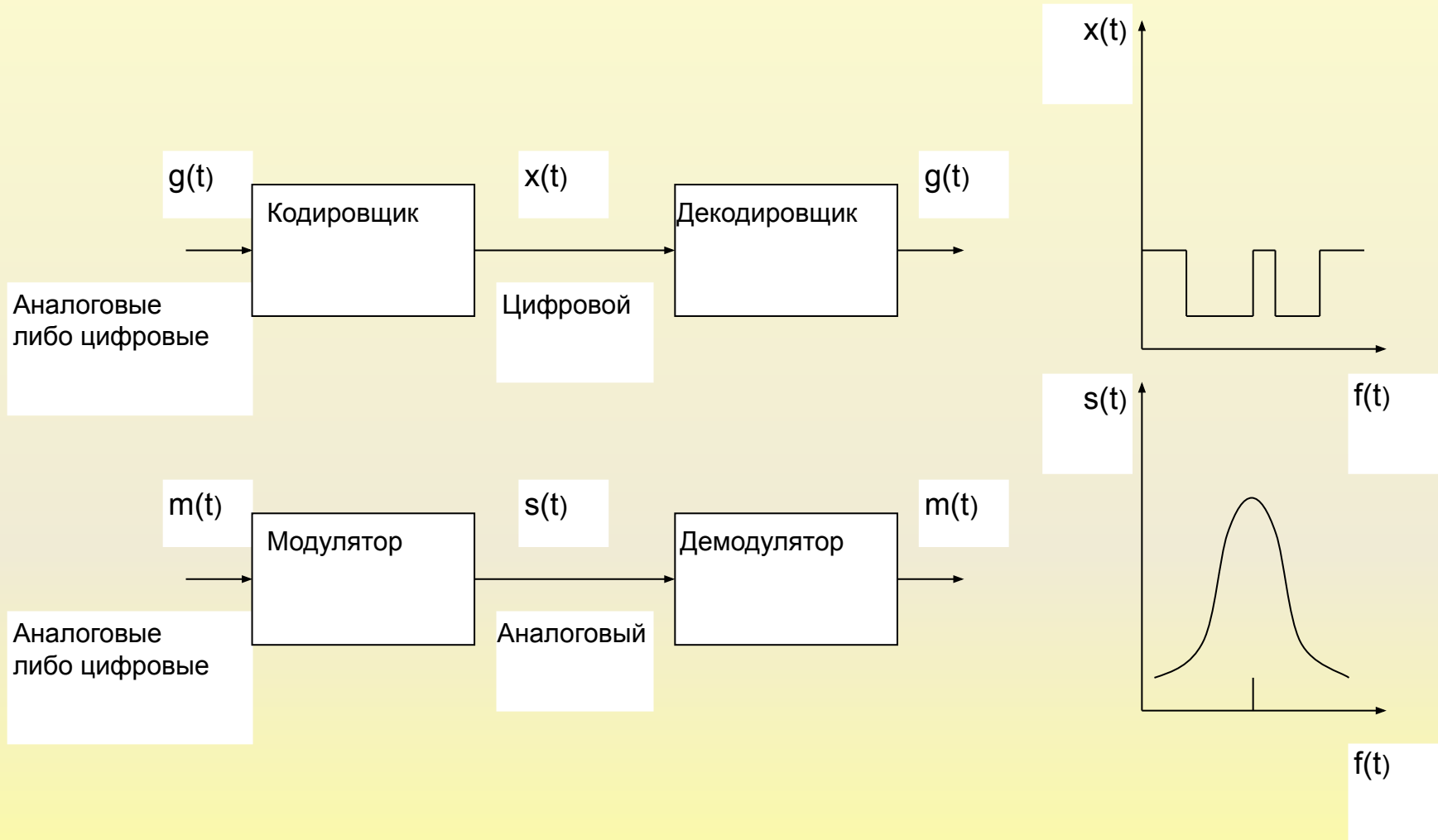
# Теорема о выборках

для однозначного воспроизведения непрерывного сигнала по его выборкам, шаг дискретизации  $T$  должен определяться соотношением

$$T \leq \frac{1}{2f_{гр}}$$

В цифровых сетях телекоммуникаций носителем информации являются прямоугольные импульсы тока или напряжения. Частотный спектр прямоугольного импульса похож на косинусоиду с непрерывно убывающей амплитудой и для него 90% энергии сигнала сосредоточены до частоты  $f_{гр}=1/t$ , где  $t$  - длительность импульса. Для обеспечения скорости передачи данных 1 Гбит/с необходимо разрешение между двумя соседними импульсами менее 1нс ( $10^{-9}$  с). Согласно теореме о выборках, аппаратура сетей телекоммуникаций должна обеспечивать полосу пропускания аналоговых сигналов от 0 до 0.5 ГГц.

# Схемы аналоговой и цифровой передачи



# Сравнение аналоговой и цифровой передачи

- Затухание и нарушение формы в цифровом случае не столь сильно как в аналоговом
- При ретрансляции цифрового сигнала проще восстановить его изначальную форму, которая известна точно, в отличие от аналогового сигнала
- При ретрансляции аналогового ошибка накапливается
- Цифровая передача дешевле, не надо восстанавливать форму сигнала

# Критерий Найквиста

В 1927 году Найквист установил, что число независимых импульсов в единицу времени, которые могут быть переданы через телеграфный канал, ограничено удвоенной максимальной частотой пропускания канала (этой частоте соответствует чередующаяся последовательность нулей и единиц, остальные комбинации сигналов соответствуют более низким частотам)

$$f \leq 2B$$

где  $f$  - частота пульса (пульсов в секунду), и  $B$  — полоса пропускания (в герц).

Предел Найквиста:

$$C = 2 \Delta f \log_2 V \text{ бит/с}$$

$\Delta f$ - полоса пропускания канала

$V$ - число различимых уровней



# Скорость передачи информации

Скорость передачи данных — объём данных, передаваемых за единицу времени. Максимальная скорость передачи данных без появления ошибок (пропускная способность) вместе с задержкой определяют производительность системы или линии связи. Теоретическая верхняя граница скорости передачи определяется теоремой Шеннона — Хартли

Ёмкость канала  $C$ , означающая теоретическую верхнюю границу скорости передачи информации, которые можно передать с данной средней мощностью сигнала  $S$  через один аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму мощности  $N$  равна:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Где  $C$  — ёмкость канала в битах в секунду;

$B$  — полоса пропускания канала в герцах;

$S$  — полная мощность сигнала над полосой пропускания, измеренной в ваттах или вольтках в квадрате;

$N$  — полная шумовая мощность над полосой пропускания, измеренной в ваттах или вольтках в квадрате;

$S/N$  — отношение сигнала к гауссовскому шуму, выраженное как отношение мощностей.



# Физическая среда передачи

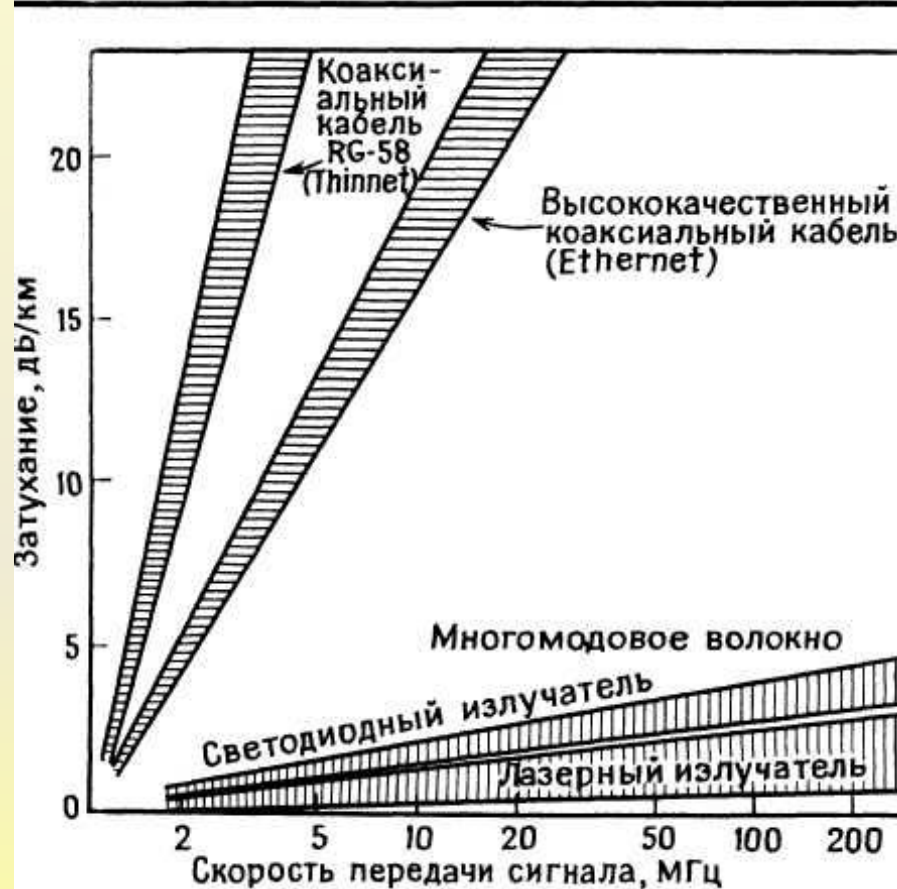
- Магнитные носители
- Витая пара (Twisted Pair)
- Коаксиальный кабель (Coaxial Cable)
- Оптическое волокно (Fiber Optics)

# Физическая среда передачи

- характеристики физической среды:
  - полоса пропускания
  - пропускная способность (спектр частот, которые канал пропускает без существенного понижения мощности сигнала)
  - задержка
  - Затухание (Разные среды искажают форму сигнала и гасят его энергию в зависимости от частоты сигнала по -разному)
  - помехоустойчивость
  - достоверность передачи
  - стоимость
  - простота прокладки
  - сложность в обслуживании.

# Физическая среда передачи

Малое затухание сигнала в оптическом волокне



# ОПТОВОЛОКОННЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

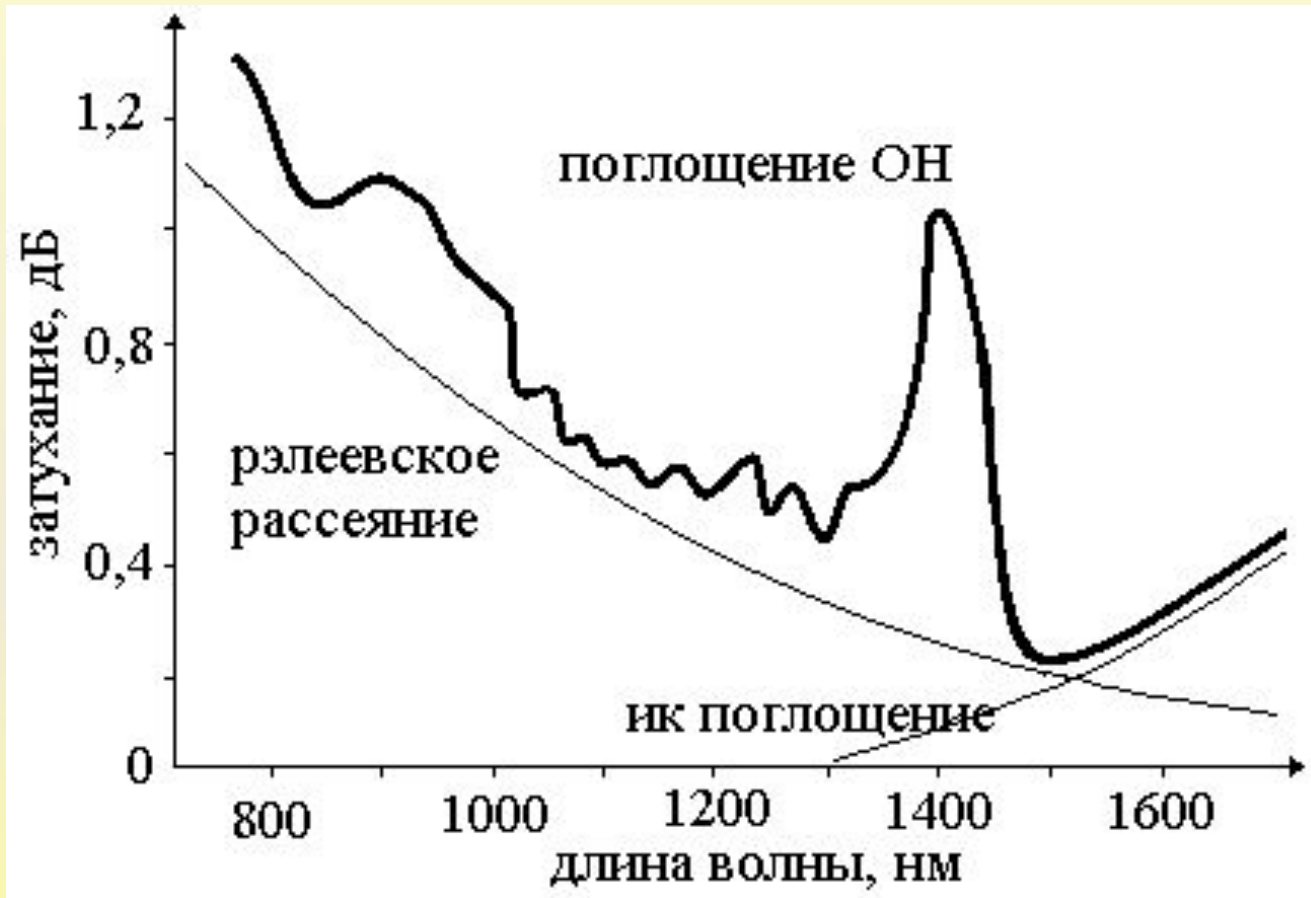
- Достоинства оптоволоконных линий связи
- широкополосность оптических сигналов обусловленная чрезвычайно высокой несущей частотой  $f_0 = 10^{12} - 10^{14}$  Гц, что позволяет передавать информацию со скоростью 1 Тбит в сек (Последний рекорд скорости - 255 Тбит/с)
- Долговечность. Время жизни волокна то есть сохранение им своих свойств в определенных пределах превышает 25 лет что позволяет проложить волоконно-оптический кабель один раз и по мере необходимости наращивать пропускную способность канала путем замены приемников и передатчиков на более быстродействующие
- Помехозащищенность
- Компактность
- Низкие потери

Недостатки волоконно-оптических технологий:

- Высокая стоимость активных компонент
- Высокая стоимость монтажа и обслуживания



# Затухание в оптоволоконном кабеле





# Литература

- J. Laferriere, G. Lietaert, R. Taws, S. Wolszczak, Reference Guide to Fiber Optic Testing. Second edition. 2011
- А. Л. Дмитриев. Оптические системы передачи информации /Учебное пособие. - СПб: СПбГУИТМО, 2007. - 96 с.
- Макаров Т. В. Когерентные волоконно-оптические системы передачи :
- Учебник / Макаров Т. В. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2009. – 220 с.
- **Emmanuel Desurvire, Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications** Wiley, New York, 1994