

«Телекоммуникационные системы»

Лектор: АЛИЕВ Тауфик Измайлович, *д.т.н., профессор*

Национальный исследовательский университет ИТМО
(НИУ ИТМО)

Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Разделы дисциплины

1. Основы телекоммуникаций
- 2. Кабельные телекоммуникационные системы**
3. Беспроводные телекоммуникационные системы
4. Телекоммуникационные технологии

Раздел 2

Кабельные телекоммуникационные системы

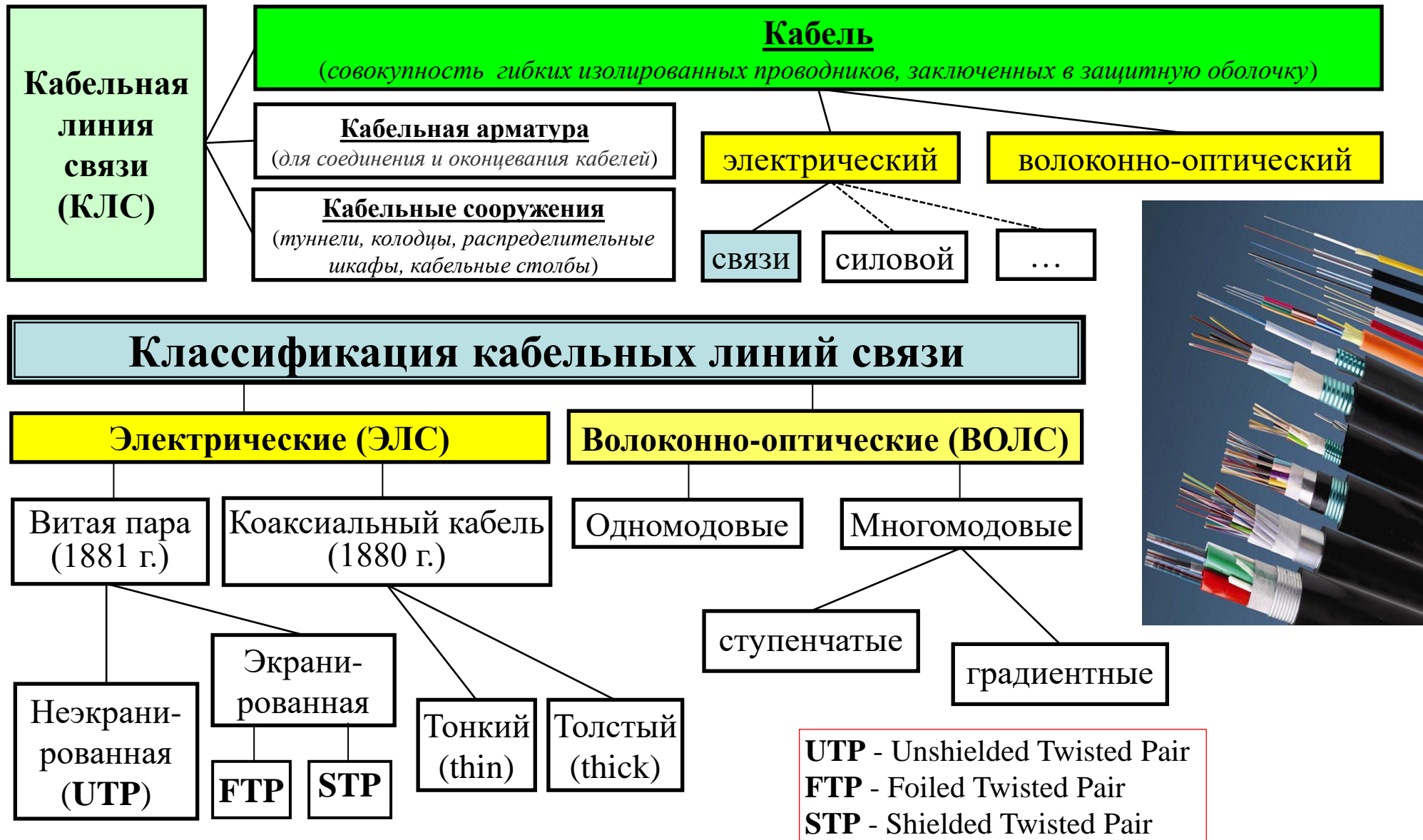
2.1. Кабельные линии связи

2.2. Электрические кабельные линии связи

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

2.4. Кабельные системы

2.1. Кабельные линии связи



2.2. Электрические кабельные линии связи

Электрические кабели

Классификация электрических кабелей

Витая пара (*Twisted Pair*)

неэкраниро-
ванная

U/UTP

экранированная

Инд.Э
U/FTP

Общий Экран
F/UTP, S/UTP,
SF/UTP

Общий + Инд. Экран
F/FTP, S/FTP, SF/FTP

ISO/IEC 11801 (2010 г.):

x/yTP,

где **x** – тип общего экрана;
y – тип экрана для пар;
TP – Twisted Pair.

x и **y** могут принимать значение:

U (Unshielded) – неэкранированный;

F (Foiled) – металлизированная
лента (алюминиевая фольга);

S (Shielded) – металлическая
оплётка (*только общий экран*).

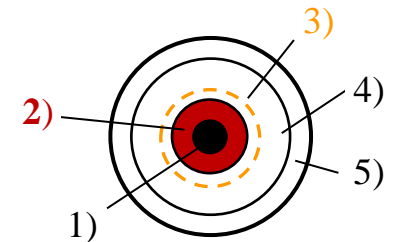
Коаксиальный кабель используется:

- в системах связи;
- в широковещательных системах (радио, телевидение) и компьютерных сетях;
- в системах сигнализации, контроля и видеонаблюдения;
- в военной технике и других областях.

Коаксиальный кабель

thin

thick



- 1) внутренний проводник
диаметром от 0,4 до 2,5 мм;
2) диэлектрик;
3) медная оплетка с
покрытием из олова
(внешний проводник);
4) защитная пленка;
5) внешняя оболочка.

2.2. Электрические кабельные линии связи

Характеристики электрических кабелей связи

1. **Затухание (коэффициент затухания)** [дБ/м, дБ/100 м]:
 - влияет на длину кабеля;
 - увеличивается с ростом частоты передаваемого сигнала.
2. **Импеданс (волновое сопротивление)** [Ом] = активное + реактивное сопротивление ($Z = R + jX$):
 - при высоких скоростях передачи зависит от частоты;
 - изменения импеданса по длине кабеля могут вызвать процессы внутреннего отражения (возникновение стоячих волн, искажающих информационный сигнал).
3. **Перекрестные наводки на ближнем конце (NEXT – Near End Crosstalk) и на дальнем конце (FEXT – Far End Crosstalk)** [дБ] – результат интерференции передаваемых сигналов:
 - чем больше абсолютное значение NEXT (FEXT), тем лучше;
 - зависят от частоты передаваемого сигнала (с увеличением частоты наводки возрастают);
 - FEXT зависит от длины кабеля (с увеличением длины абсолютное значение FEXT увеличивается).
4. **Активное сопротивление** [Ом/100 м]:
 - не зависит от частоты;
 - возрастает с увеличением длины кабеля.
5. **Емкость** [нФ/100 м] – свойство металлических проводников накапливать электрическую энергию:
 - является нежелательной и должна быть минимальной;
 - высокое значение ёмкости приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания.



$$NEXT (FEXT) = 10 \lg \frac{P_H}{P}$$

P_H – мощность наведенного сигнала;
 P – мощность передаваемого сигнала.

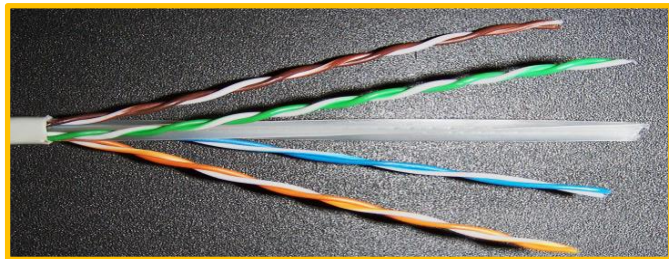
2.2. Электрические кабельные линии связи

Классификация электрических кабелей связи

1. *Затухание* [дБ / 100 м]
2. *Импеданс (волновое сопротивление)* [Ом]
3. *Перекрестные наводки на ближнем конце* **NEXT** и на дальнем конце (**FEXT**) [дБ]
4. *Активное сопротивление* [Ом/100 м]
5. *Емкость* [нФ/100 м]

Типичные характеристики кабеля 5-й категории:

- затухание - не более 23,6 дБ на 100 м при частоте 100 МГц;
- волновое сопротивление - не более 100 Ом±15%;
- NEXT - не менее 27 дБ при частоте 100 МГц;
- активное сопротивление - не более 9,4 Ом на 100 м;
- емкость не более 5,6 нФ на 100 м.



Классы соединений с помощью витой пары (ISO/IEC 11801, редакция 2010 г.)

Класс	Полоса, до ...	Категория	Применение
A	100 кГц	1	Тф-линии и модемы
B	1 МГц	2	Старые терминалы
C	16 МГц	3	ЛВС Ethernet 10 Мбит/с
D	100 МГц	5, 5e	Ethernet 100 и 1000 Мбит/с
E	250 МГц	6	Ethernet 10 Гбит/с
E _A	500 МГц	6 _A	Ethernet 10 Гбит/с
F	600 МГц	7	Ethernet 10 Гбит/с
F _A	1000 МГц	7 _A	Ethernet 10 Гбит/с
I	2000 МГц	8.1	Ethernet 100 Гбит/с
II	2000 МГц	8.2	Ethernet 100 Гбит/с

пары дополнительно скручены вокруг общей оси – *разделительного корда*

2.2. Электрические кабельные линии связи

Скорости распространения сигнала в кабелях разных типов в соответствии со справочными данными IEEE

Тип кабеля	Стандарт	Задержка, bt/м	Время, мкс/км	Скорость, км/с	Доля от скорости света
Витая пара кат.3	10Base-T	0,113	5,65	177 000	0,59
Тонкий коаксиал	10Base-2	0,1026	5,13	195 000	0,65
Толстый коаксиал	10Base-5	0,0866	4,33	230 000	0,77
Оптоволокно	10Base-F	0,1	5	200 000	0,67

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Оптический сигнал - модулированный световой поток, генерируемый *светодиодами* или *полупроводниковыми (диодными) лазерами*, для передачи по оптическим диэлектрическим световодам

Основные компоненты ВОЛС:

- 1) оптическое волокно;
- 2) волоконно-оптический кабель;
- 3) оптические компоненты;
- 4) электронные компоненты систем оптической связи.

Достоинства ВОЛС:

- 1) *сверхвысокие скорости передачи (Тбит/с);*
- 2) *невысокая стоимость* материала для изготовления волокон (кварц);
- 3) *компактны и легки* (для использования в авиации, приборостроении и т.д.);
- 4) *обеспечивается гальваническая развязка сегментов;*
- 5) *безопасны в электрическом отношении* (могут монтироваться на мачтах линий электропередач);
- 6) *устойчивы к электромагнитным помехам;*
- 7) *данные защищены от несанкционированного доступа;*
- 8) *возможно применение скрытой передачи данных;*
- 9) *долговечность.*

Недостатки ВОЛС:

- 1) *необходимы специальные* технические средства (преобразователи сигналов, оптические коннекторы, сплиттеры, аттенюаторы, ...);
- 2) *для монтажа волокон необходимо дорогое прецизионное* оборудование;
- 3) *высокие затраты на* восстановление кабеля при его повреждении (обрыве).

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно

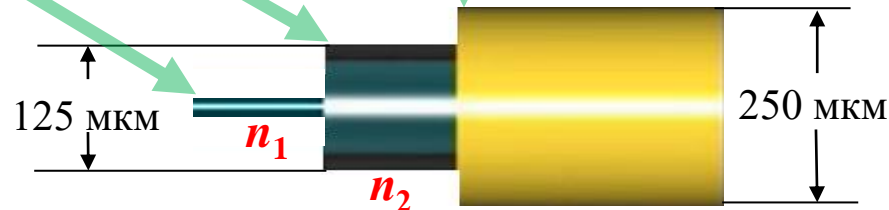
Оптическое волокно — нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), содержащая сердцевину, оболочку и пластиковое покрытие, используемая для передачи светового сигнала посредством полного внутреннего отражения.

Оптические волокна

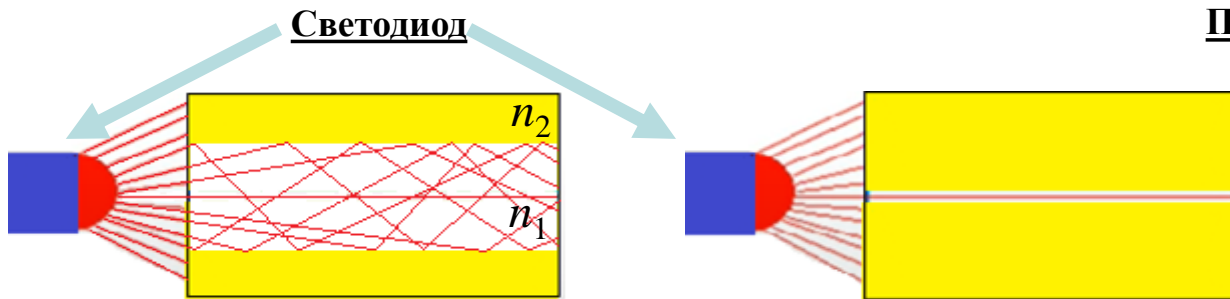
Многомодовые
(50-62,5 мкм)

Одномодовые
(8-10 мкм)

Мода — электромагнитная волна с определенной комбинацией векторов напряженности электрического и магнитного поля. Каждая мода имеет свою траекторию распространения светового излучения (разные расстояния).



n_1 и n_2 — показатели (коэффициенты) преломления сердцевины и оболочки соответственно, причем $n_1 > n_2$ ($n \geq 1$)



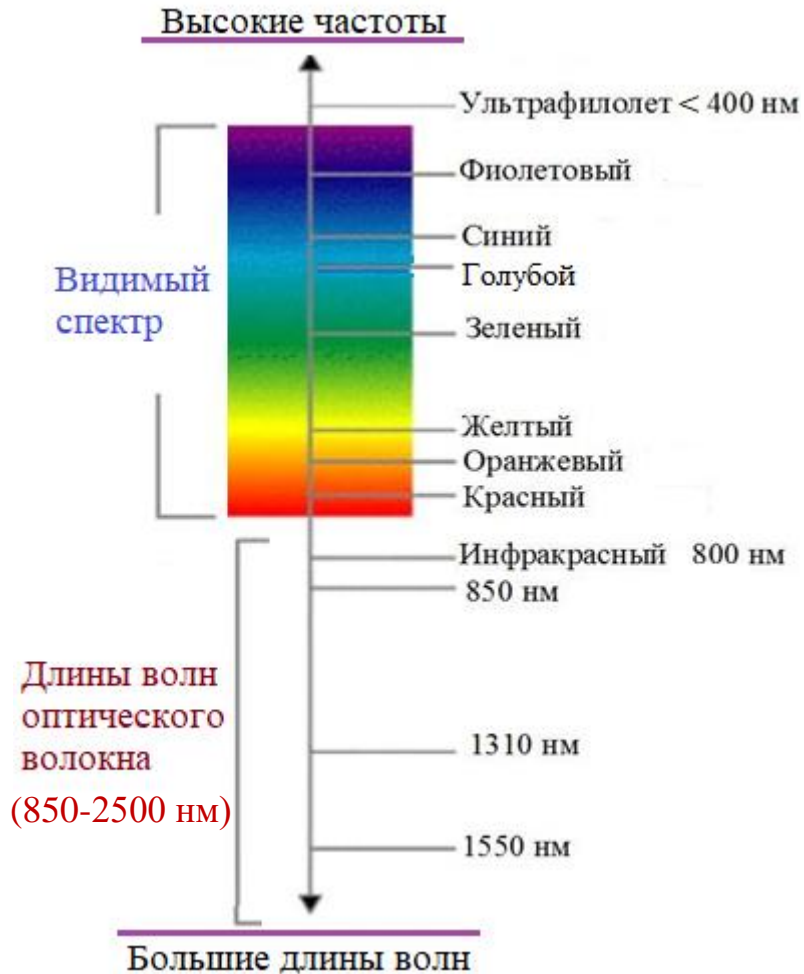
Полупроводниковый лазер



- Каждая мода имеет свою траекторию распространения светового излучения.
- С увеличением диаметра сердцевины и уменьшением длины волны число мод возрастает.

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: длины волн и частоты



Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц
Красный	625—740	480—405
Оранжевый	590—625	510—480
Жёлтый	565—590	530—510
Зелёный	500—565	600—530
Голубой	485—500	620—600
Синий	440—485	680—620
Фиолетовый	380—440	790—680

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: одно- и многомодовое

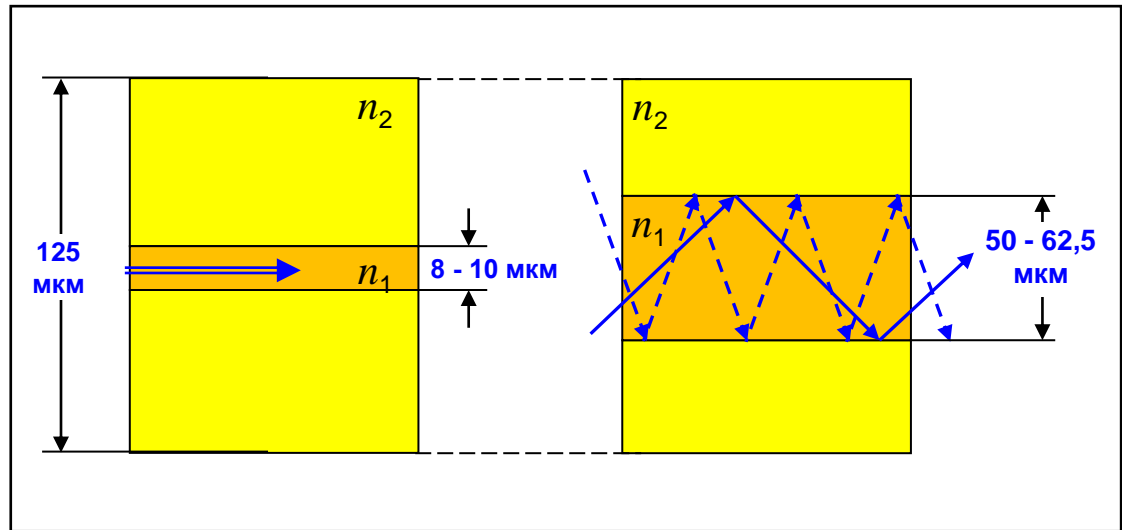
Оптические волокна

Одномодовые

Многомодовые

Процессы в оптоволокне:

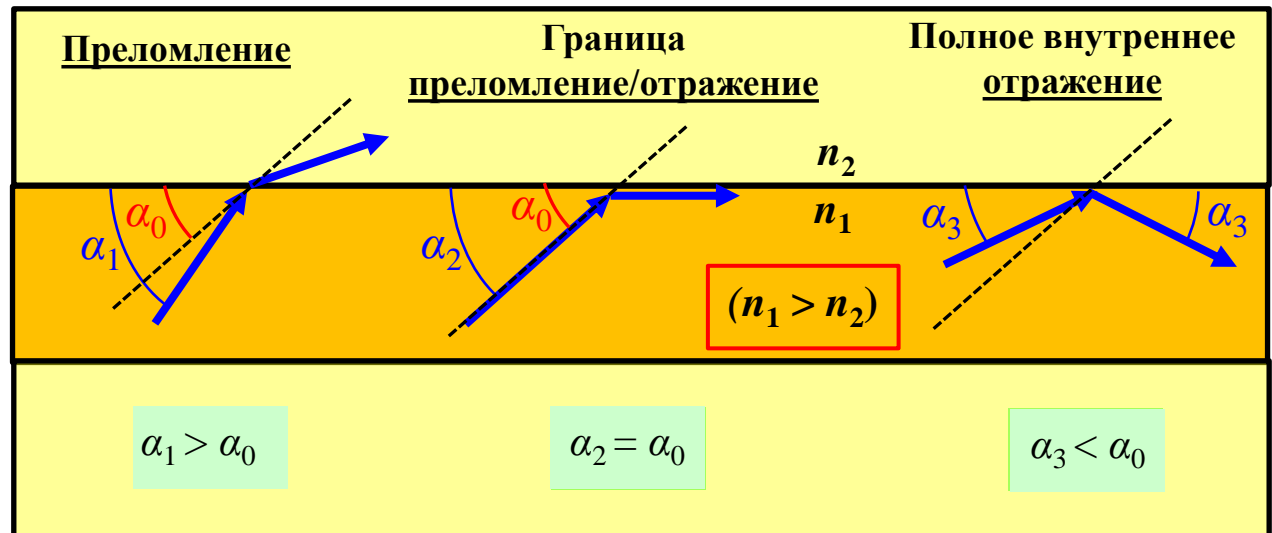
- преломление;
- отражение;
- рассеяние;
- внутреннее поглощение.



Коэффициент преломления:

$$n = \frac{c}{v_n}$$

где c – скорость света в вакууме;
 v_n – скорость света в некоторой среде ($n=1$ для воздуха, $n=1,33$ для воды и $n=1,5$ для обычного стекла).



2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: числовая апертура

Числовая апертура:

$$NA = n \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

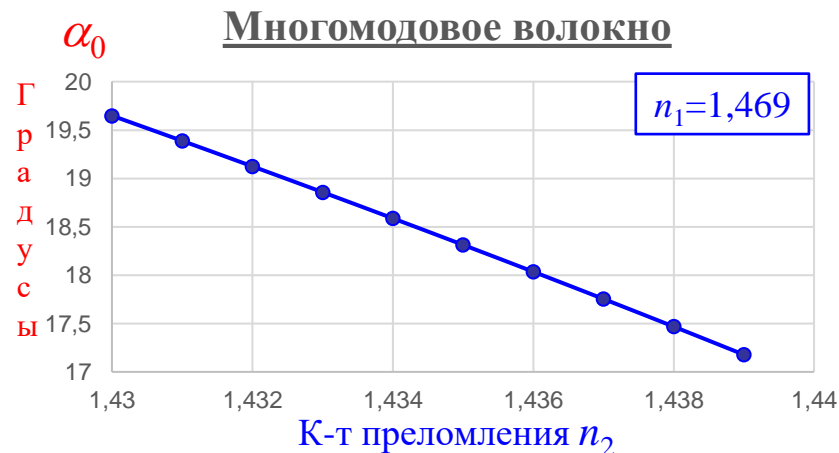
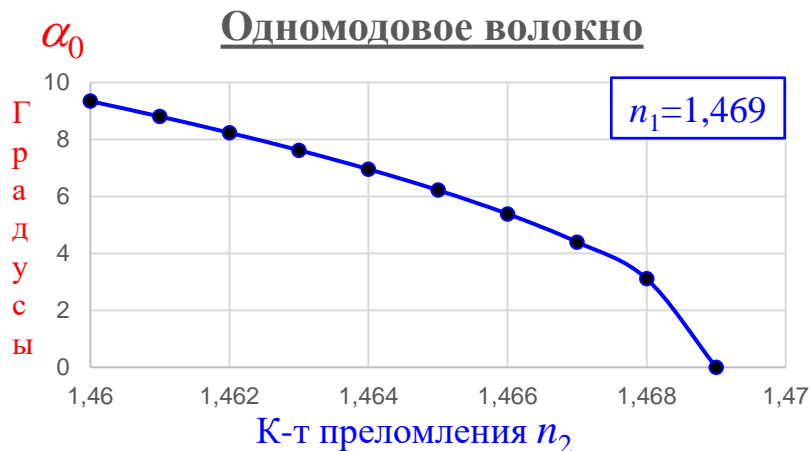
α_0 - максимальный угол ввода светового луча по отношению к оси оптоволокна, при котором свет входит в сердцевину и далее распространяется в сердцевине

Числовая апертура

оптического волокна ...

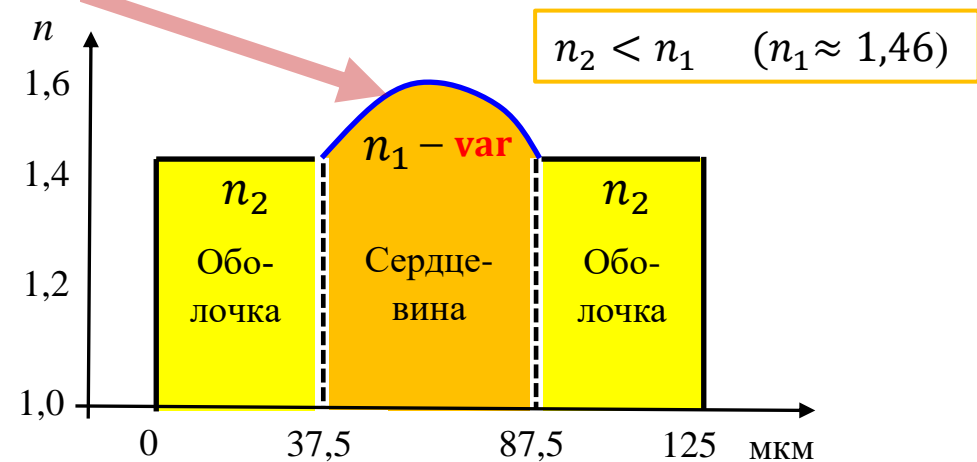
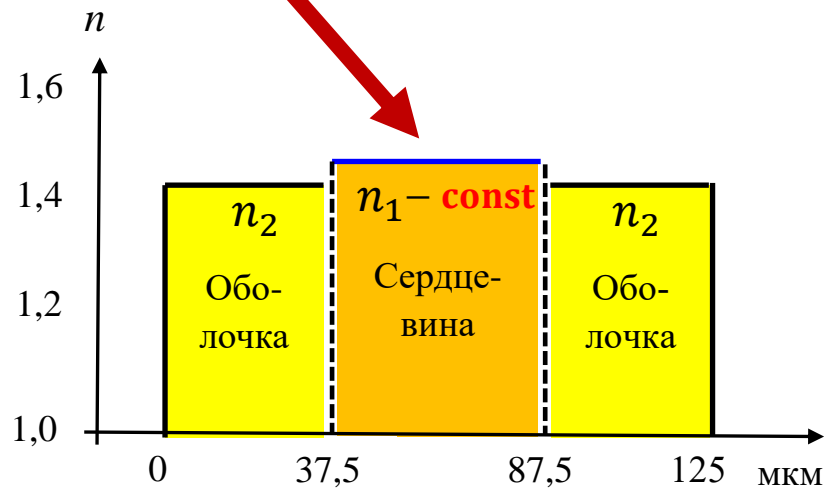
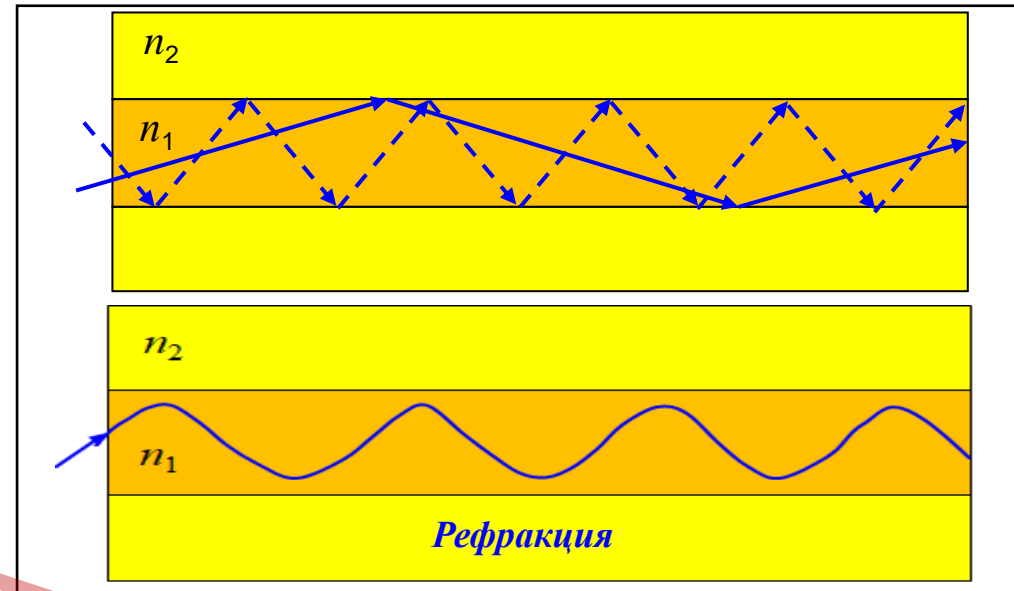
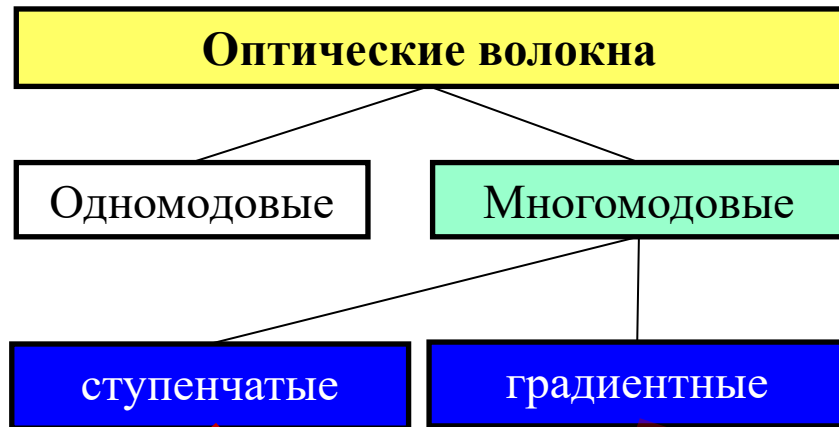
... **ОДНОМОДОВОГО** –
около 0,1 ($\sim 5,5^\circ$)

... **МНОГОМОДОВОГО** –
около 0,3 ($\sim 17,5^\circ$)



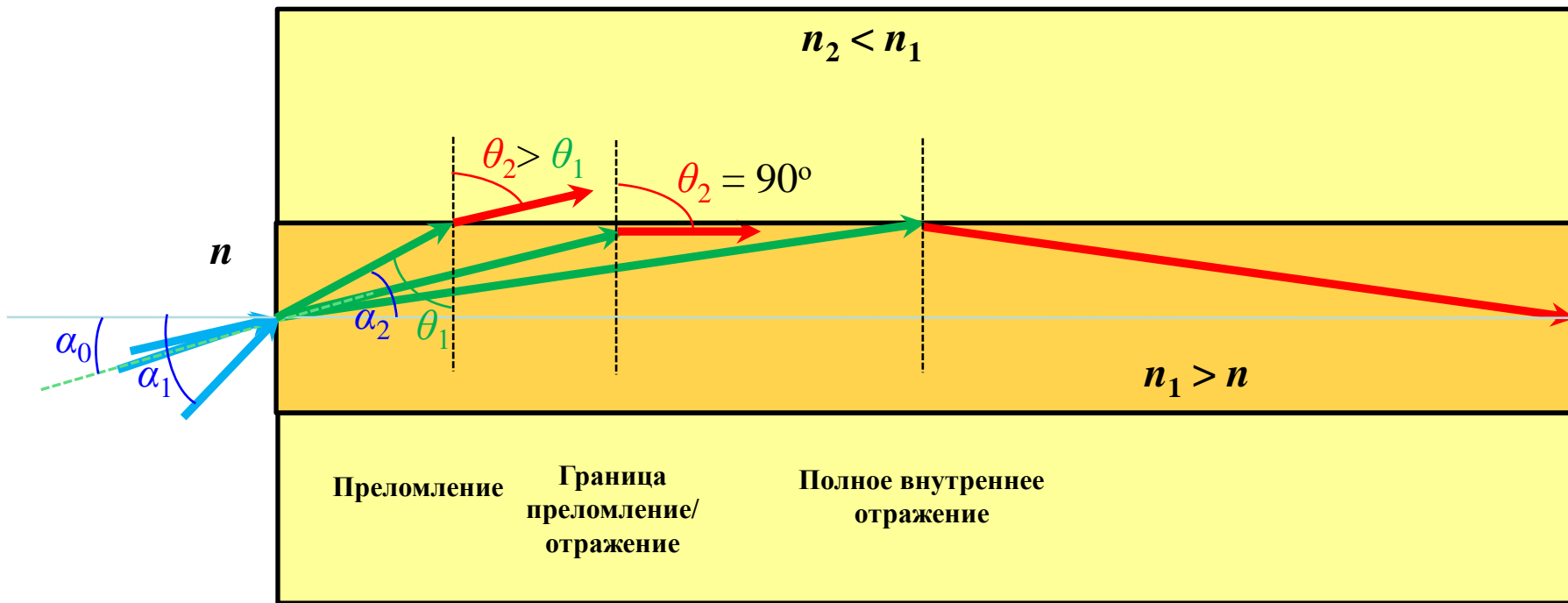
2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: многомодовое



2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: свойства



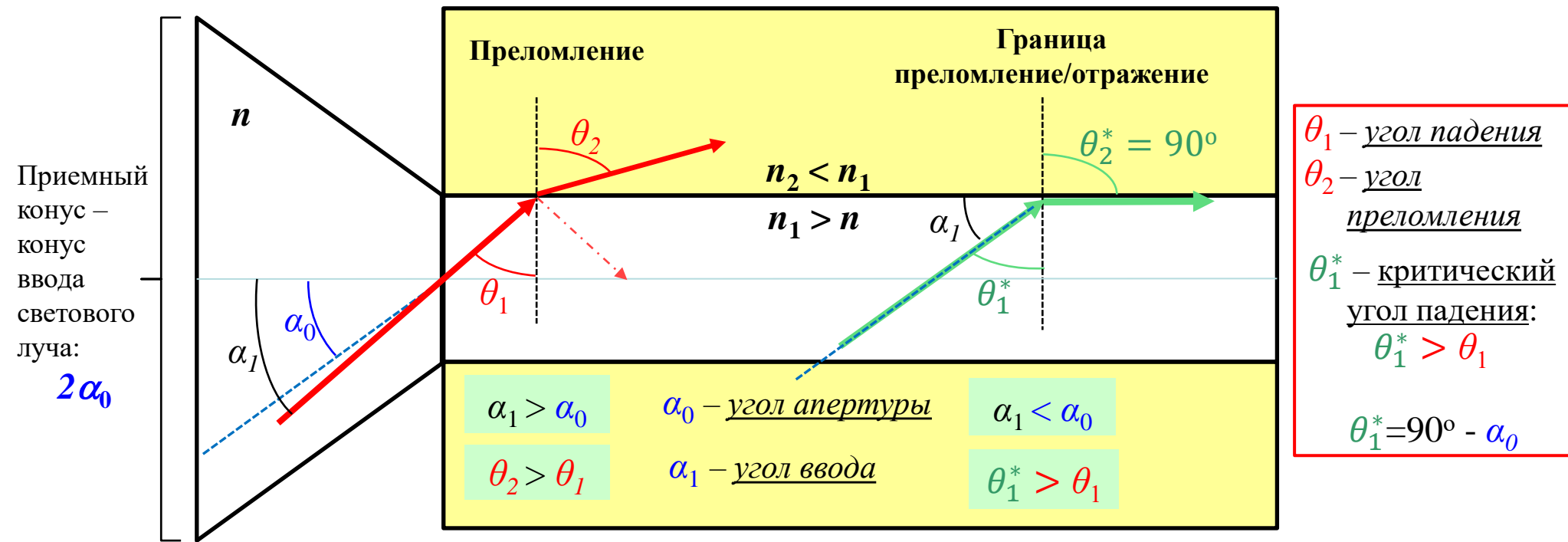
α_1 и α_2 – соответственно угол ввода и угол преломления на границе воздух – сердцевина ($\alpha_2 = \alpha_1 = \alpha_0$)

θ_1 и θ_2 – соответственно угол падения и угол преломления на границе сердцевина – оболочка

$$\alpha_0 \text{ – угол апертуры (критический угол ввода): } NA = n \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: преломление



Закон Снеллиуса: преломление света на границе двух прозрачных сред (числовая апертура неизменна):

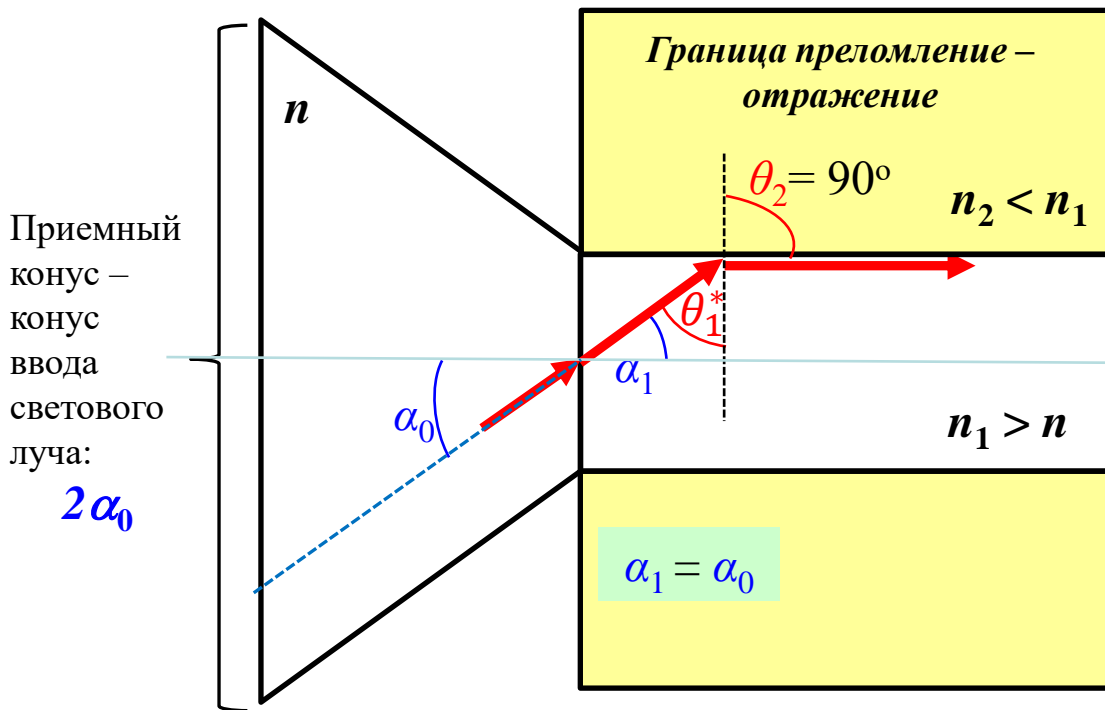
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies n_i = \frac{c}{v_i} \quad (i = 1, 2) \implies \frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$

$\theta_1^* = \arcsin(n_2/n_1)$ – критический угол (граница) ввода светового луча из условия: $n_1 \sin \theta_1^* = n_2$.

Для внутреннего отражения светового луча в оптоволокне необходимо, чтобы угол ввода луча $\theta_1 > \theta_1^*$.

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: формулы



α_0 – угол апертуры / α_1 – угол ввода
 θ_1 – угол падения / θ_2 – угол преломления
 θ_1^* – критический угол падения ($\theta_2 = 90^\circ$):
 $\alpha_1 = 90^\circ - \theta_1^*$

Закон Снеллиуса:

$$\begin{cases} n \sin \alpha_0 = n_1 \sin \alpha_1 \\ n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad \theta_1 = \theta_1^*, \text{ если } \theta_2 = 90^\circ$$
$$\sin \alpha_1 = \sin(90^\circ - \theta_1^*) = \cos \theta_1^*$$
$$\begin{cases} n \sin \alpha_0 = n_1 \cos \theta_1^* \\ n_1 \sin \theta_1^* = n_2 \end{cases} \quad \sin \theta_1^* = \frac{n_2}{n_1}$$

Числовая апертура:

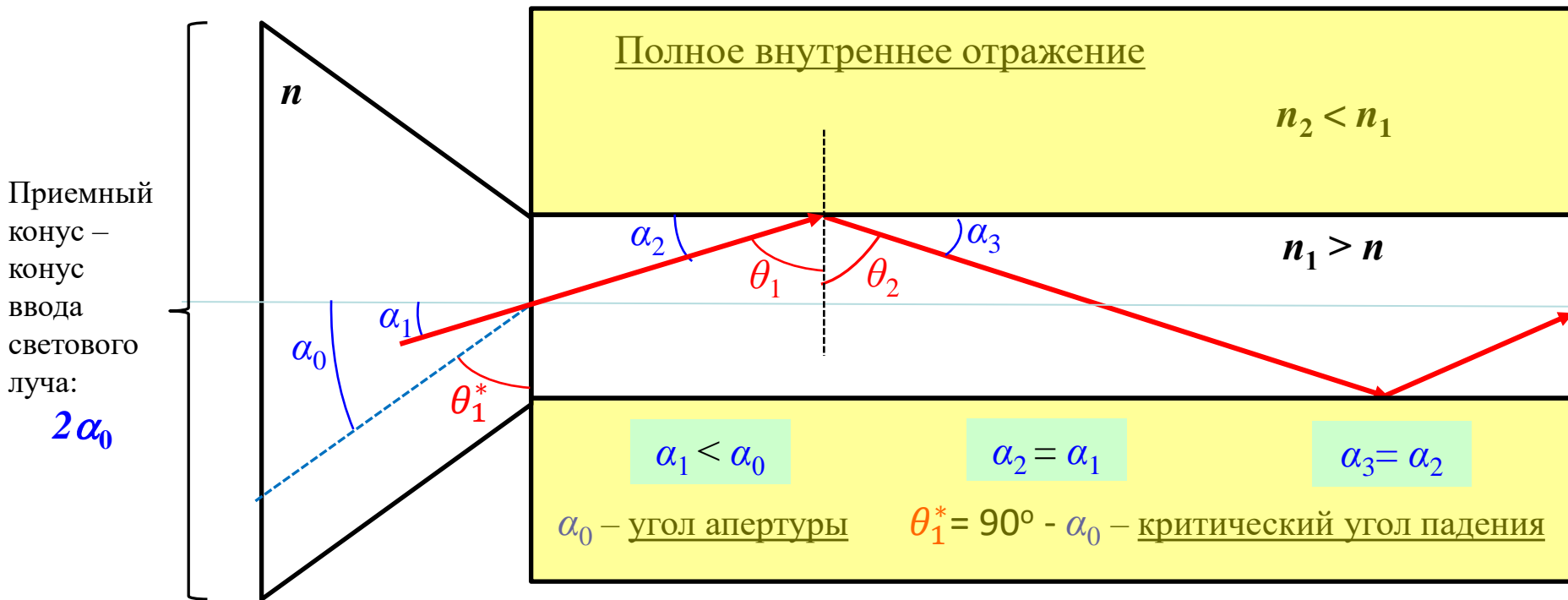
$$n \sin \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1^*} = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Критический угол ввода (падения) θ_1^* светового луча определяется из условия: $\theta_2 = 90^\circ$.

Для полного внутреннего отражения светового луча необходимо, чтобы угол падения луча: $\theta_1 > \theta_1^*$.

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: отражение



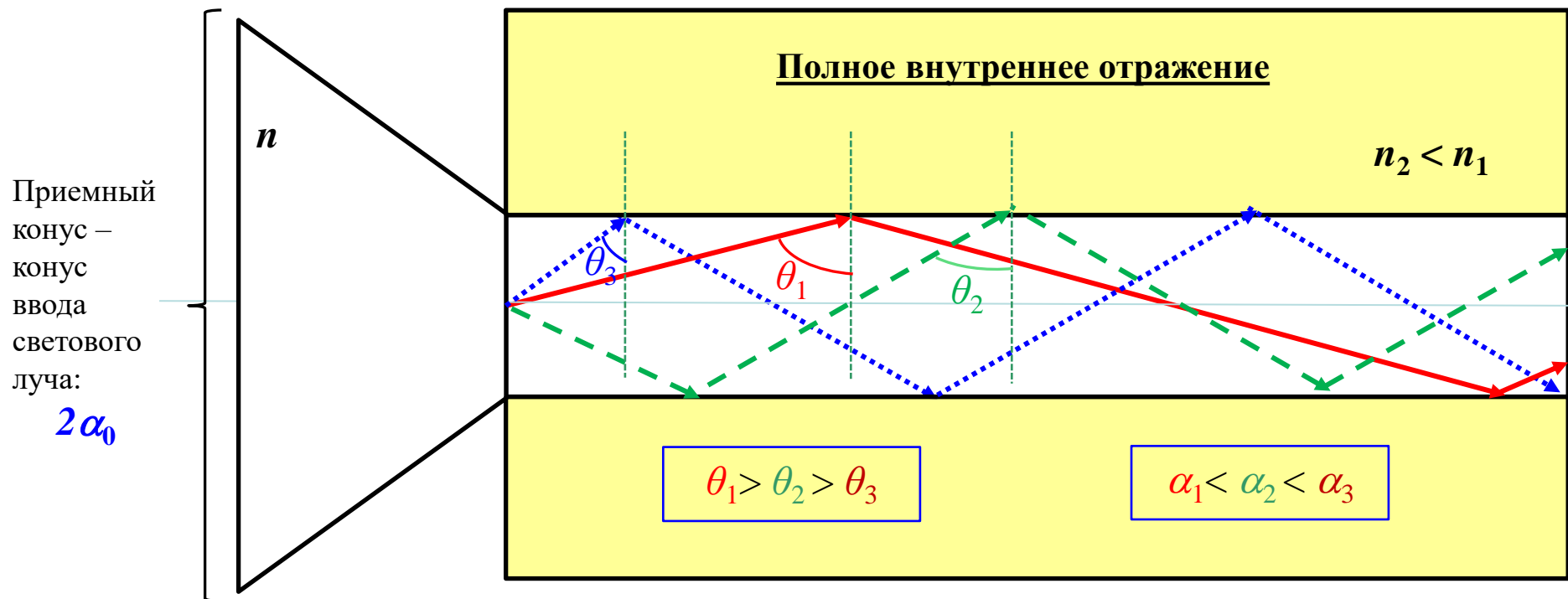
$\theta_1^* = \arcsin(n_2 / n_1)$ – критический угол (граница) ввода светового луча из условия: $n_1 \sin \theta_1^* = n_2$.

Для полного внутреннего отражения светового луча в оптоволокне необходимо, чтобы угол ввода луча:

$$\theta_1 > \theta_1^*.$$

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: многомодовое (3 моды)



Специфические особенности многомодового волокна:

1. **Все моды** передают оптические сигналы **на одной и той же частоте** (на одной частоте возможно одновременное распространение множества типов волн (мод) с разным поперечным распределением и с разными скоростями).
2. **Расстояния**, преодолеваемые сигналами каждой моды в оптоволокне, в общем случае **различны**, т.е. различны времена передачи сигналов каждой моды.
3. В многомодовых волокнах взаимное влияние разных мод приводит к появлению **межмодовой дисперсии**.

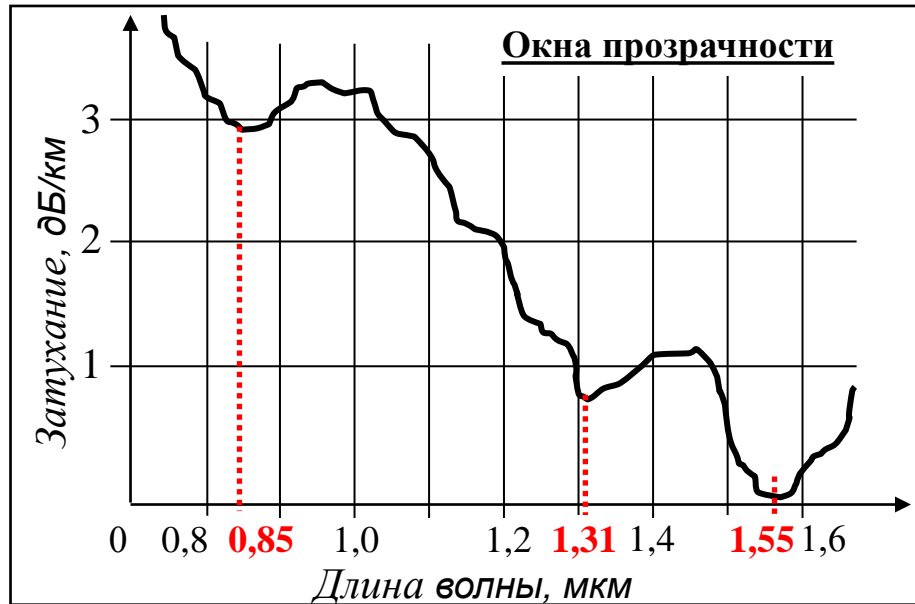
2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

1. Оптическое волокно: характеристики

1. Затухание [дБ/км]

Обозначение	Диапазон, нм	Название
O	1260...1360	Основной
E	1360...1460	Расширенный
S	1460...1530	Коротковолновый
C	1530...1565	Стандартный
L	1565...1625	Длинноволновый
U	1625...1675	Сверхдлинноволновый

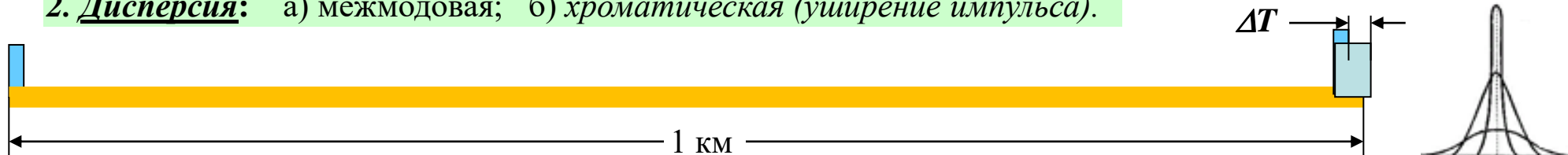
$$f[\text{ТГц}] = c \left[\frac{\text{КМ}}{\text{с}} \right] / \lambda[\text{нм}]$$



Длина волны, нм	Затухание, дБ/км
850	3
1300	1
1310	0.33
1380	0.50
1490	0.21
1550	0.2
1625	0.22

Фтороцирконатные волокна: затухание около 0,02 дБ/км при длине волны 2,5 мкм (1Гбит/с; 4600 км)

2. Дисперсия: а) межмодовая; б) хроматическая (уширение импульса).



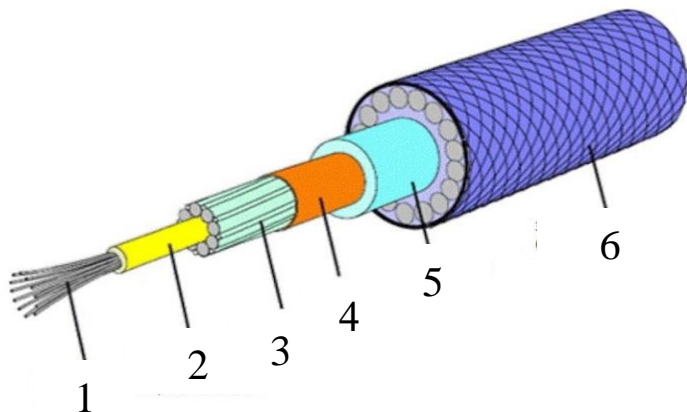
$$\text{Полоса пропускания: } P = 1/\Delta T \text{ [МГц*км]}$$

Дисперсия налагает ограничения на дальность передачи и верхнее значение частоты передаваемых сигналов:

$$P = 1000 \text{ МГц*км} \implies \Delta T = 1 \text{ нс} \implies (1 \text{ км; } 1 \text{ Гбит/с}) \text{ или } (10 \text{ км; } 100 \text{ Мбит/с}).$$

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

2. Волоконно-оптический кабель (ВОК)



- 1 – оптические волокна
2 – трубка для защиты волокон
3 – медные токоведущие жилы
4 – медная фольга
5 – изолирующая оболочка
6 – защитный слой (бронирование)

Недостатки ВОК:

- трудоемкость монтажа, требующая специального оборудования;
- высокая стоимость сетевых устройств.

	Характеристики	Одномодовое волокно	Многомодовое волокно
1	Затухание	< 0,5 дБ/км	1,5 – 3 дБ/км
2	Полоса пропускания	> 1000 МГц*км	до 1000 МГц*км
3	Модальная дисперсия	нет	есть
4	Расстояние	до 50 км	до 2 км
5	Стоимость	высокая	низкая
6	Ввод светового луча	сложнее	проще
7	Потери при сращивании	выше	ниже

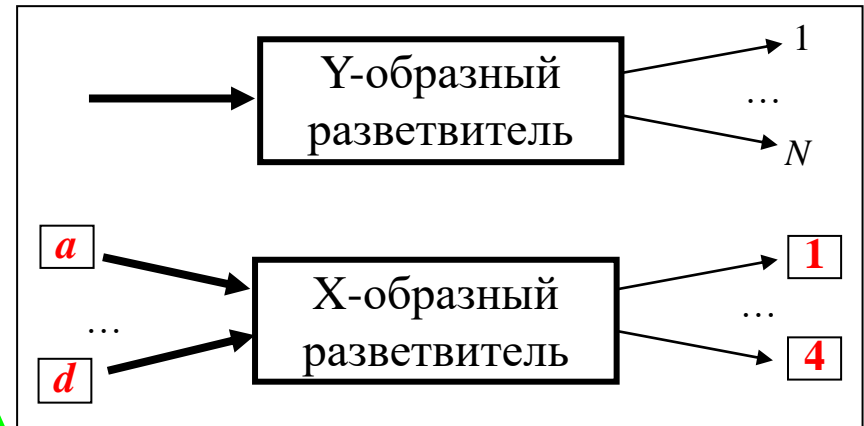
Достоинства ВОК:

- высокая пропускная способность;
- отсутствие электромагнитного излучения;
- помехоустойчивость;
- большое расстояние передачи;
- малый вес;
- высокое электрическое сопротивление, обеспечивающее гальваническую развязку;
- умеренная стоимость.

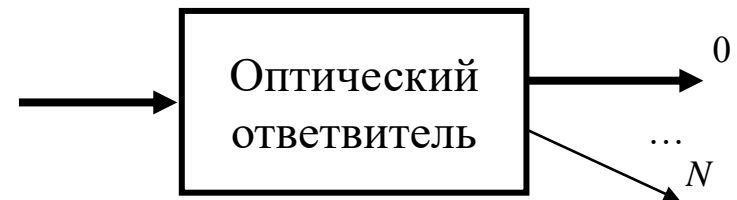
3. Оптические компоненты

- **Многополюсные устройства**
- Оптические *усилители*
- Аттенюаторы (для снижения уровня оптического сигнала)
- Оптические соединители (коннекторы)
- Системы спектрального уплотнения
- Оптические шнуры (патч-корды)
- Патч-панели
- Кроссовые шкафы и стойки
- Соединительные муфты и др.

Оптические разветвители (сплиттеры)



Оптические ответвители



2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

3. Оптические компоненты

Оптические разветвители (сплиттеры)

- Оптические усилители
- Атенюаторы (для снижения уровня оптического сигнала)
- Оптические соединители (коннекторы)
- Системы спектрального уплотнения
- Оптические шнуры (патч-корды)
- Патч-панели
- Кроссовые шкафы и стойки
- Соединительные муфты и др.

Направленные

Ненаправленные

Чувствительные
к длине волны

Нечувствительные
к длине волны

Древовидные (Y)

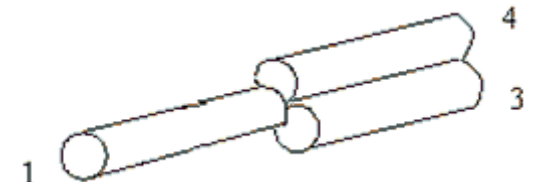
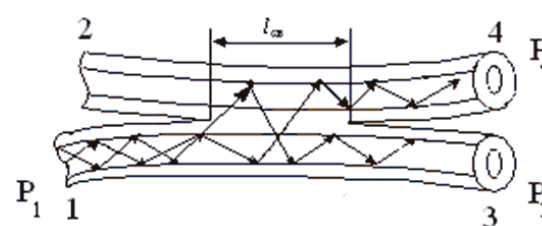
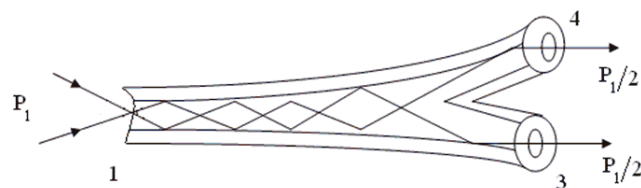
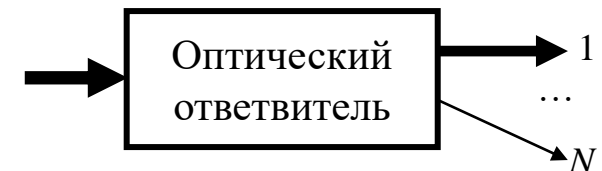
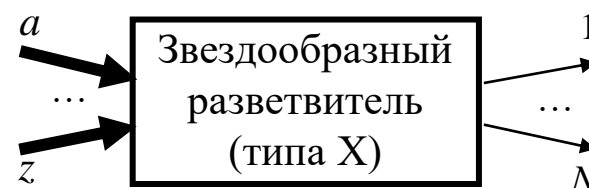
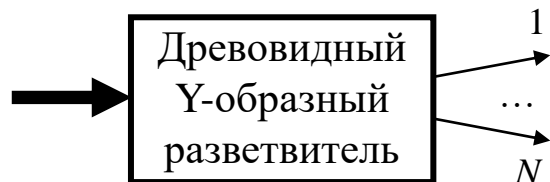
Звездообразные (X)

Симметричные

Несимметричные

Биконические

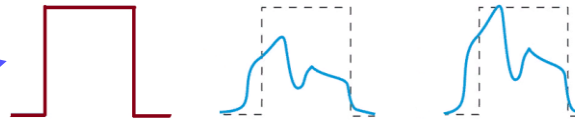
Торцевые



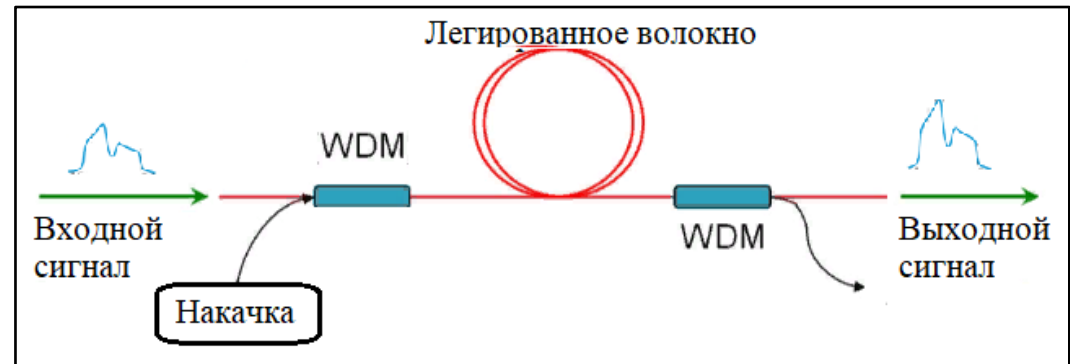
2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

3. Оптические компоненты

- Оптические разветвители (сплиттеры)
- Оптические ответвители
- **Оптические усилители**
- **Аттенюаторы** (для снижения уровня оптического сигнала)
- Оптические соединители (коннекторы)
- **Системы спектрального уплотнения**
- **Оптические шнуры** (патч-корды)
- **Патч-панели**
- **Кроссовые шкафы** и стойки
- Соединительные муфты и др.



EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) - волоконно-оптический усилитель на оптическом волокне, легированном ионами эрбия.



Достоинства эрбиевых усилителей:

- нет преобразования в электрический сигнал;
- возможно одновременное усиление сигналов с разными длинами волн;
- сравнительно низкий уровень шумов;
- простота включения в волоконно-оптическую систему.

Недостатки оптических усилителей:

- накапливаются искажения формы;
- девиация задержки сигналов (потеря синхронизации).

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

3. Оптические компоненты

- Оптические разветвители (сплиттеры)
- Оптические ответвители
- Оптические усилители
- **Аттенюаторы** (для снижения уровня оптического сигнала)

Оптические соединители (коннекторы)

- Системы спектрального уплотнения
- **Оптические шнуры** (патч-корды)
- **Патч-панели**
- **Кроссовые шкафы** и стойки
- Соединительные муфты и др.

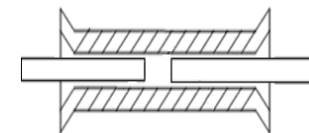
Перестраиваемые

Фиксированные:
5, 10, 15, 20 дБ



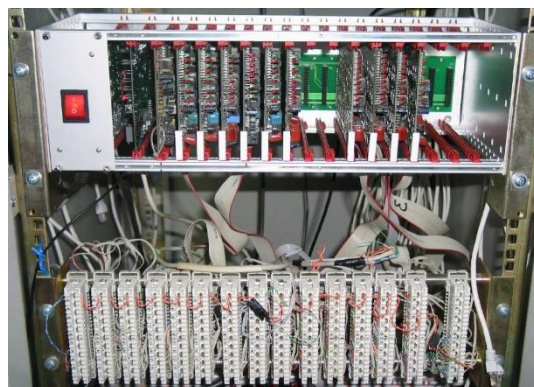
Разъемные

Неразъемные



Мультиплексоры:

CWDM (Coarse WDM) – до 16 каналов по 10 Гбит/с;
DWDM (Dense WDM) – 32 канала и более.



2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

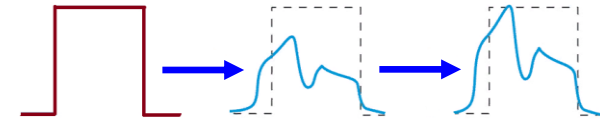
4. Электронные компоненты систем оптической связи

1. Оптические (оптоэлектронные) регенераторы.

2. Передатчики со светоизлучающим диодом (светодиоды) и полупроводниковые (диодные) лазеры.
3. Приемники оптического излучения.
4. Устройства частотной и фазовой модуляции излучения.

Недостатки оптических усилителей:

- накапливаются искажения формы;
- девиация задержки сигналов (потеря синхронизации).



Оптический регенератор (англ. *optical regenerator*) — компонент оптической системы связи, предназначенный для восстановления цифрового оптического сигнала.

Полная регенерация (3R регенерация):

- восстановление амплитуды (усиление);
- восстановление формы;
- восстановление синхронизации.

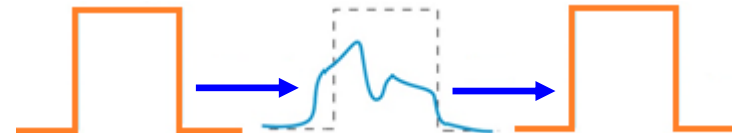
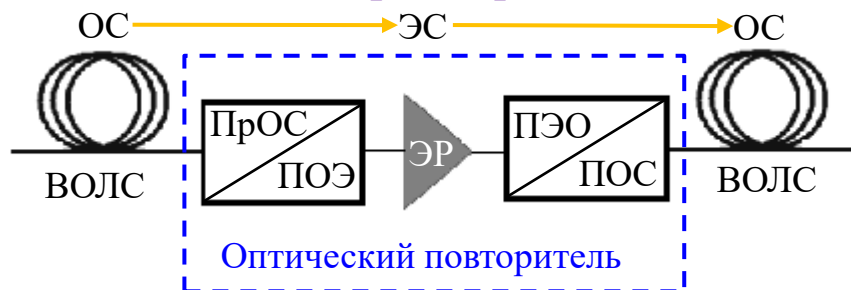


Схема регенерации



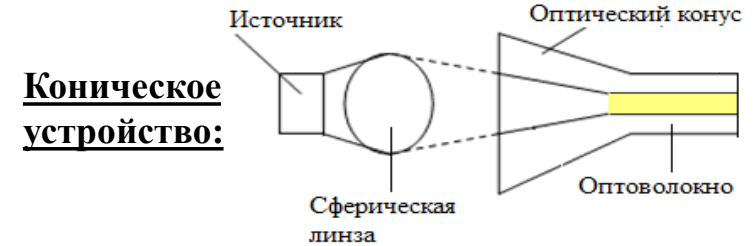
Опто-электро-оптическое преобразование:

- *детектирование* (выделение) оптического сигнала (ПрОС);
- *преобразование* оптического сигнала в электрический (ПОЭ);
- *восстановление* формы электрического сигнала (ЭР);
- *преобразование* электрического сигнала в оптический (ПЭО);
- *ретрансляция* (передача) оптического сигнала (ПОС).

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

4. Электронные компоненты систем оптической связи

1. Оптические регенераторы.
2. Передатчики со светоизлучающим диодом (светодиоды) и полупроводниковые (диодные) лазеры.
3. Приемники оптического излучения.
4. Устройства частотной и фазовой модуляции излучения.



Светодиод - точечный источник света (электрическая мощность от 20 мВт до 120 мВт); при КПД в 5 – 25% в виде света излучается 1 – 30 мВт.

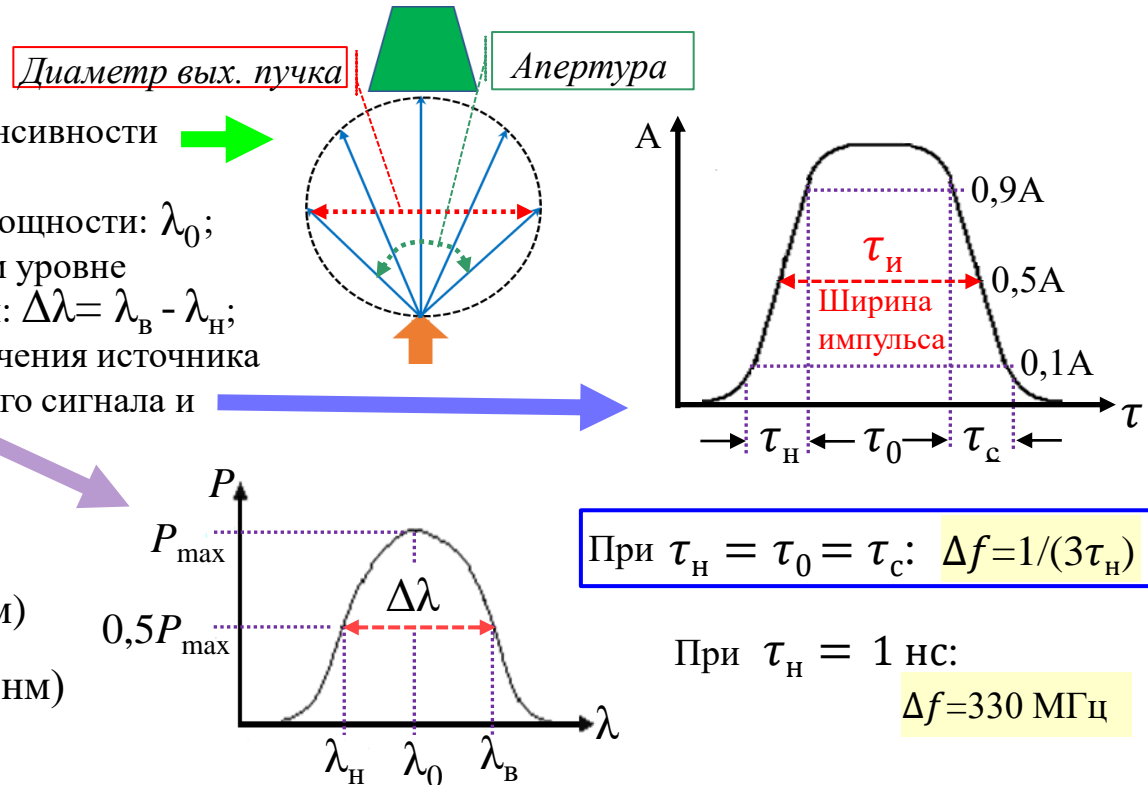
Характеристики светодиодов:

- **мощность излучения** (1 – 5 мВт);
- **диаграмма направленности** – зависимость интенсивности излучения от направления;
- **длина волны излучения** – волны максимальной мощности: λ_0 ;
- **спектральная ширина** – диапазон волн на 50%-м уровне мощности относительно максимального значения: $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_H$;
- **быстродействие** – скорость включения и выключения источника (зависит от времени нарастания и спада оптического сигнала и составляет несколько сотен МГц) [Гц];
- **срок службы** - 50 тыс. часов и более (до 8 лет).

Спектральная ширина светодиода:

$\lambda_0 = 850$ нм; $\Delta\lambda = 30$ нм ($\lambda_H = 835$ нм; $\lambda_B = 865$ нм)

$\lambda_0 = 1300$ нм; $\Delta\lambda = 90$ нм ($\lambda_H = 1255$ нм, $\lambda_B = 1345$ нм)



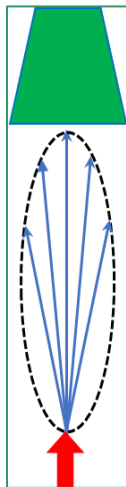
2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

4. Электронные компоненты систем оптической связи

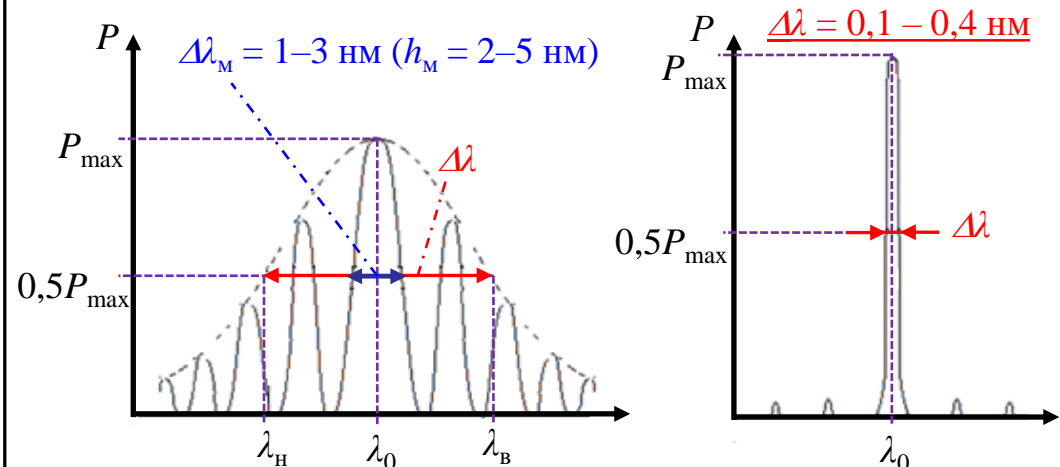
Полупроводниковый (диодный) лазер преобразует электрическую энергию в энергию светового когерентного излучения.

Характеристики лазера:

- **мощность излучения** зависит от тока накачки и от температуры среды (до 100 мВт);
- **диаграмма направленности** излучения – эллиптический конус;
- **длина волны излучения** моды λ_0 ;
- **спектральная ширина** $\Delta\lambda$;
- **быстродействие** (частота модуляции – несколько ГГц);
- срок службы (приближается к светодиодам).



Спектральные характеристики полупроводникового лазера



Сравнительные характеристики светодиодов и полупроводниковых лазеров

Характеристика	Светодиоды	Лазеры
Скорость передачи данных	Низкая	Высокая
Тип волокна	Многомодовые	Одно- и многомодовые
Расстояние	Небольшое	Большое
Срок службы	Большой	Меньше
Чувствительность к температуре	Низкая	Высокая
Цена	Низкая	Высокая

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

4. Электронные компоненты систем оптической связи

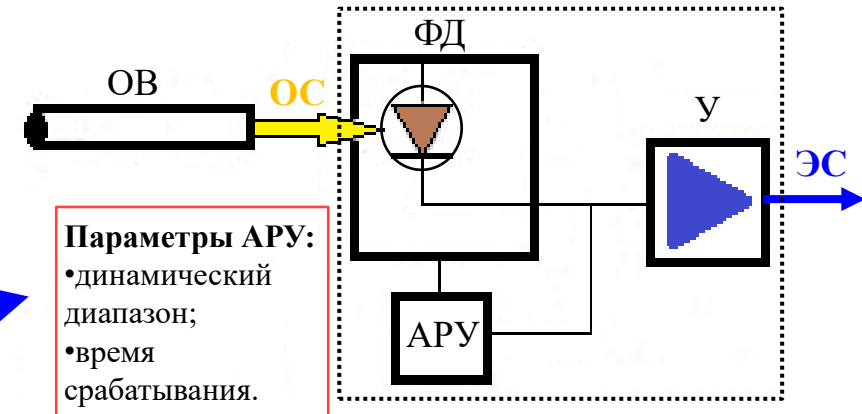
1. Оптические регенераторы.
2. Передатчики со светоизлучающим диодом (светодиоды) и полупроводниковые (диодные) лазеры.
- 3. Приемники оптического излучения.**
4. Устройства частотной и фазовой модуляции излучения.

Приемники оптического излучения: 1) *обнаружение* и измерение энергии излучения;
2) *преобразование* энергии излучения в электрическую энергию.

Типы фотодетекторов (фотодиодов, ФД):

- *PIN-диоды*, включающие область положительных зарядов (Positive), область отрицательных зарядов (Negative) и разделяющую их нейтральную область (Intrinsic);
- *лавинные диоды (APD - Avalanche Photo Diode)*, повышающие уровень выходного сигнала.

Показатель	PIN-диоды	Лавинные диоды
Структура	простая	сложная
Чувствительность к температуре	слабая	сильная
Квантовая эффективность	1	3-4
Динамический диапазон	узкий	широкий
Время эксплуатации	большое	большое
Чувствительность	низкая	выше на 5-6 дБ
Стоимость	низкая	высокая



Основные характеристики приемников оптического излучения:

- *порог чувствительности;*
- *коэффициент преобразования;*
- *область спектральной чувствительности.*

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Способы сращивания оптических волокон

- 1) сварка **специальным аппаратом**;
- 2) с использованием **оптических "сплайсов"** (splice).



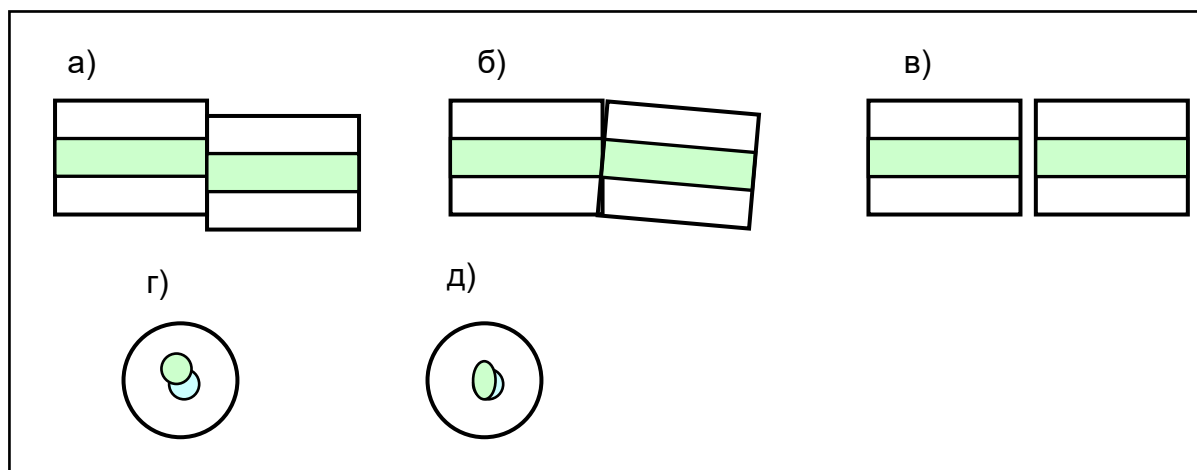
В местах сращивания оптических волокон возникают *потери энергии*, обусловленные:

1) **внешними факторами:**

- линейное смещение оптических волокон (а);
- угловое смещение оптических волокон (б);
- воздушный зазор между сращиваемыми волокнами (в);

2) **внутренними факторами:**

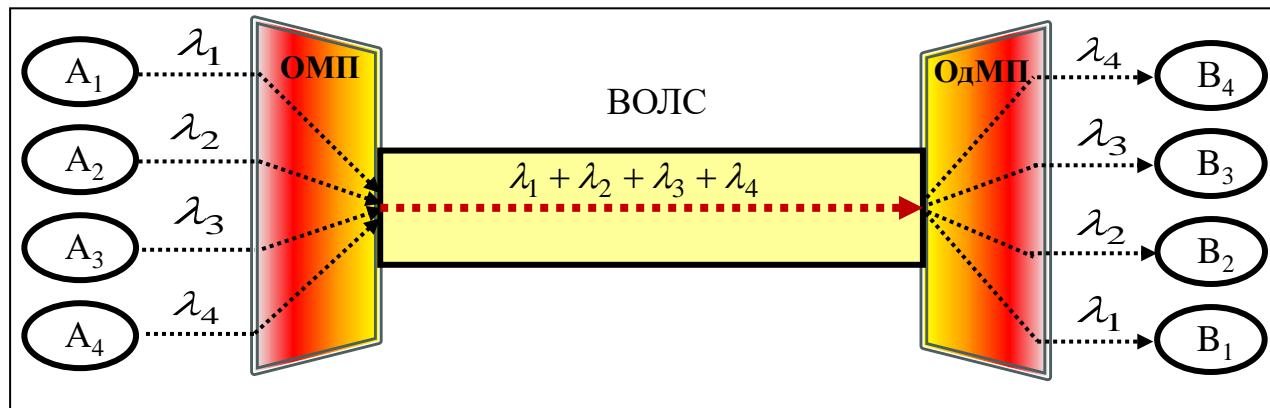
- эксцентриситет сердцевин (г);
- эллиптичность сердцевин (д).



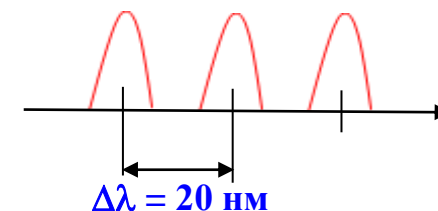
2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Технология волнового мультиплексирования WDM (спектральное уплотнение)

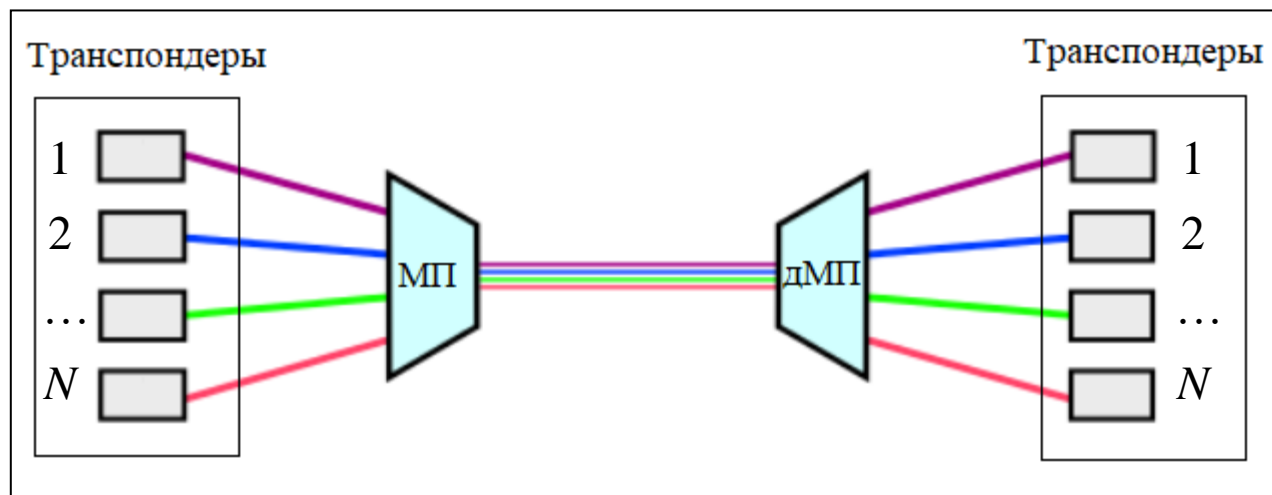
Грубое волновое мультиплексирование CWDM (Coarse WDM):



до **16** спектральных каналов (волн) по **2,5 Гбит/с** в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм с разном несущих в **20 нм**



Уплотнённое волновое мультиплексирование DWDM (Dense WDM):



$N = 32, 40$ и 80 спектральных каналов (от 10 до 100 Гбит/с и более) в окне прозрачности 1550 нм с разном несущих в **1,6 нм** и **0,8 нм**

2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Перспективы ВОЛС

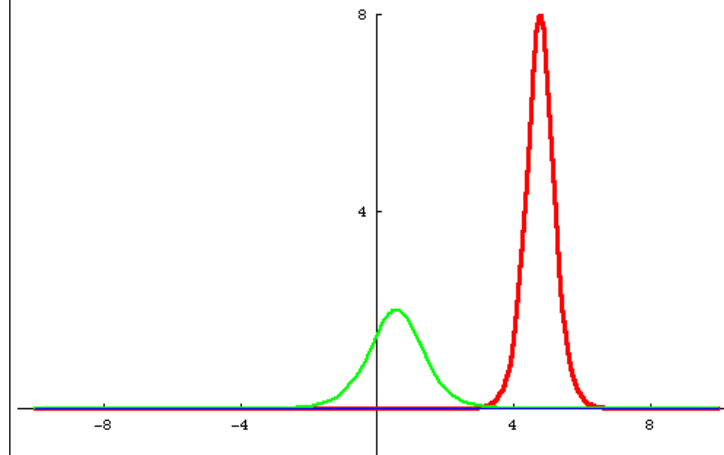
Солитоновые системы

Солитон - уединенная волна в нелинейной среде, которая не затухает и не поглощается средой, а сохраняет свои размеры и форму сколь угодно долго.

Солитон - это световой импульс с необычными свойствами: он сохраняет свою форму и теоретически может распространяться по "идеальному" световоду бесконечно далеко.

Длительность импульса – около 10 пс.

Пропускная способность солитоновых систем - не менее 5 Гбит/с при расстоянии 10 000 км.



Перспективные направления работ в области волоконно-оптических линий связи:

- увеличение **скорости передачи** на одной длине волны: в коммерческих системах достигнут уровень 40 Гбит/с, а в тестовых – 400 Гбит/с при расстоянии 12 800 км с использованием технологии шумоподавления;
- увеличение **числа длин волн**, передаваемых по одному волокну: 80 длин волн в коммерческих системах и до 1000 – в тестовых.

Теоретическая пропускная способность одного волокна – до 400 Тбит/с.

Число волокон в одном кабеле – до 864.

Ведутся разработки новых оптических сетевых устройств, обрабатывающих трафик без преобразования оптических сигналов в электрические.

2.4. Кабельные системы

Стандарты кабельных систем

Кабельная система - совокупность:

- кабелей разных типов,
- соединительных розеток,
- кроссовых кабелей,
- распределительных панелей.

Отказы кабельной системы – 50-70%

Оборудование для диагностики и сертификации кабельных систем:

- сетевые анализаторы;
- приборы для сертификации кабельных систем;
- кабельные сканеры;
- тестеры (мультиметры).

Требования к кабельным системам:

- *интеграция систем связи* для передачи различных видов информации (данных, речи и видео) с системами контроля и управления;
- *открытость архитектуры;*
- *обеспечение эффективного функционирования и развития телекоммуникационных систем разного назначения;*
- *высокие скорости передачи информации:* 100 Мбит/с и более;
- *долговечность кабельной инфраструктуры.*

Стандарт EIA/TIA 568:

- категория 3 (полоса частот до 16 МГц);
- категория 5е (до 100 МГц);
- категория 6 (250 МГц);
- категория 6А (500 МГц).

Стандарт ISO 11801 (1995 г.):

- класс C (до 16 МГц);
- класс D (до 100 МГц);
- класс E (до 250 МГц);
- класс E(A) (до 500 МГц);
- класс F(A) (до 600 МГц).

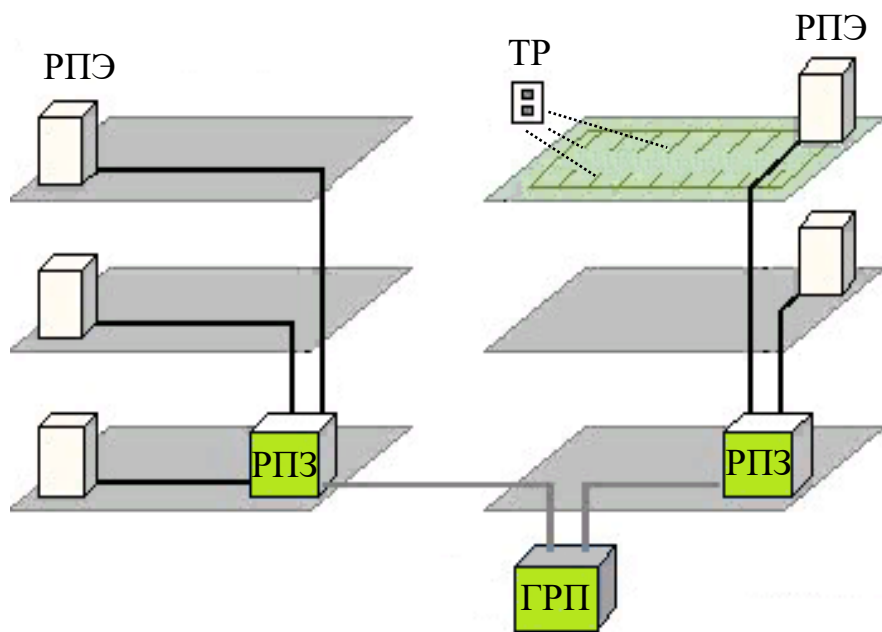
2.4. Кабельные системы

Структурированные кабельные системы (СКС)

СКС — физическая среда для передачи данных в пределах здания или группы зданий.

СКС включает в себя следующие основные элементы:

- главный распределительный пункт (ГРП) и магистральный кабель телекоммуникационной сети,
- распределительный пункт здания (РПЗ) и вертикальный кабель здания,
- распределительный пункт этажа (РПЭ) и горизонтальный кабель этажа,
- телекоммуникационный разъем (ТР) – розетку для подключения терминального оборудования.



Подсистемы СКС:

- вертикальная проводка между этажами здания;
- горизонтальная проводка на этажах;
- кроссовые (коммутационные) панели (кросс-панели);
- модульные розетки на рабочих местах.

Преимущества СКС:

- используется для передачи данных, голоса и видео;
- большой срок эксплуатации;
- модульность и возможность наращивания;
- не зависит от технологий и поставщика оборудования;
- используют стандартные компоненты и позволяют комбинировать в одной сети кабели разных типов.

ИТМО