

## «Телекоммуникационные системы»

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

---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*

### Разделы дисциплины

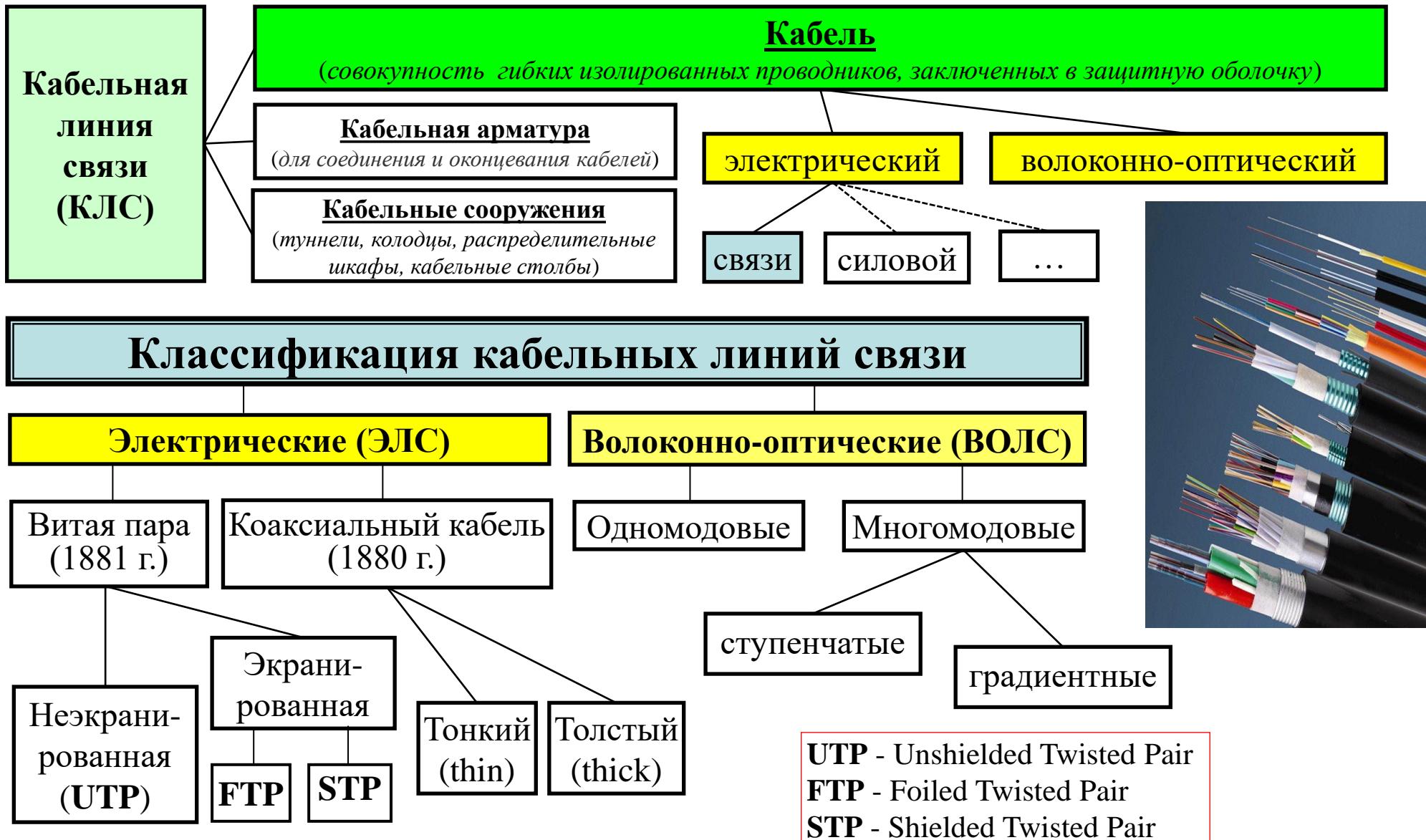
1. Основы телекоммуникаций
2. Кабельные телекоммуникационные системы
3. Беспроводные телекоммуникационные системы
4. Телекоммуникационные технологии

## 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)

неэкранированная

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;

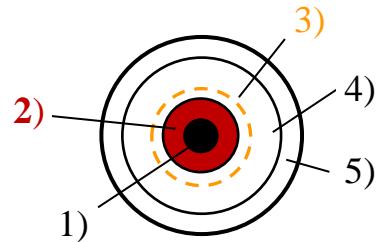
**TP** – Twisted Pair.



##### Коаксиальный кабель

thin

thick



**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.

1) внутренний проводник диаметром от 0,4 до 2,5 мм;

2) диэлектрик;

3) медная оплётка 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. **Ёмкость** [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 $\pm$ 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 <sub>A</sub>	500 МГц	6 <sub>A</sub>	Ethernet 10 Гбит/с
F	600 МГц	7	Ethernet 10 Гбит/с
F <sub>A</sub>	1000 МГц	7 <sub>A</sub>	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, бт/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:

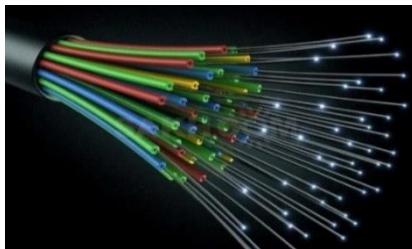
- 1) *сверхвысокие скорости передачи* (Тбит/с);
- 2) *невысокая стоимость* материала для изготовления волокон (кварц);
- 3) *компактны и легки* (для использования в авиации, приборостроении и т.д.);
- 4) обеспечивается *гальваническая развязка сегментов*;
- 5) *безопасны в электрическом отношении* (могут 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:

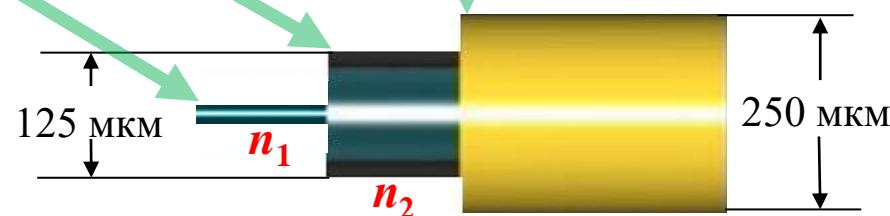
- 1) необходимы *специальные* технические средства (преобразователи сигналов, оптические коннекторы, сплиттеры, аттенюаторы, ...);
- 2) для монтажа волокон необходимо *дорогое прецизионное* оборудование;
- 3) *высокие затраты на восстановление* кабеля при его повреждении (обрыве).

## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно

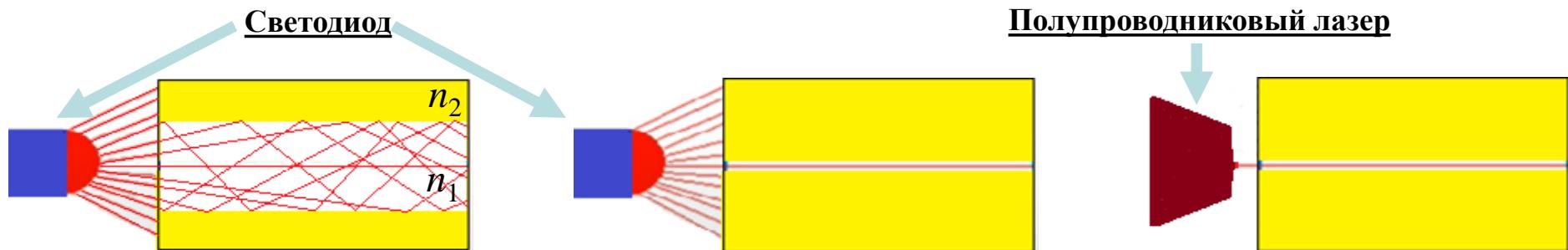


**Оптическое волокно** — нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), содержащая сердцевину, оболочку и пластиковое покрытие, используемая для передачи светового сигнала посредством полного внутреннего отражения.



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

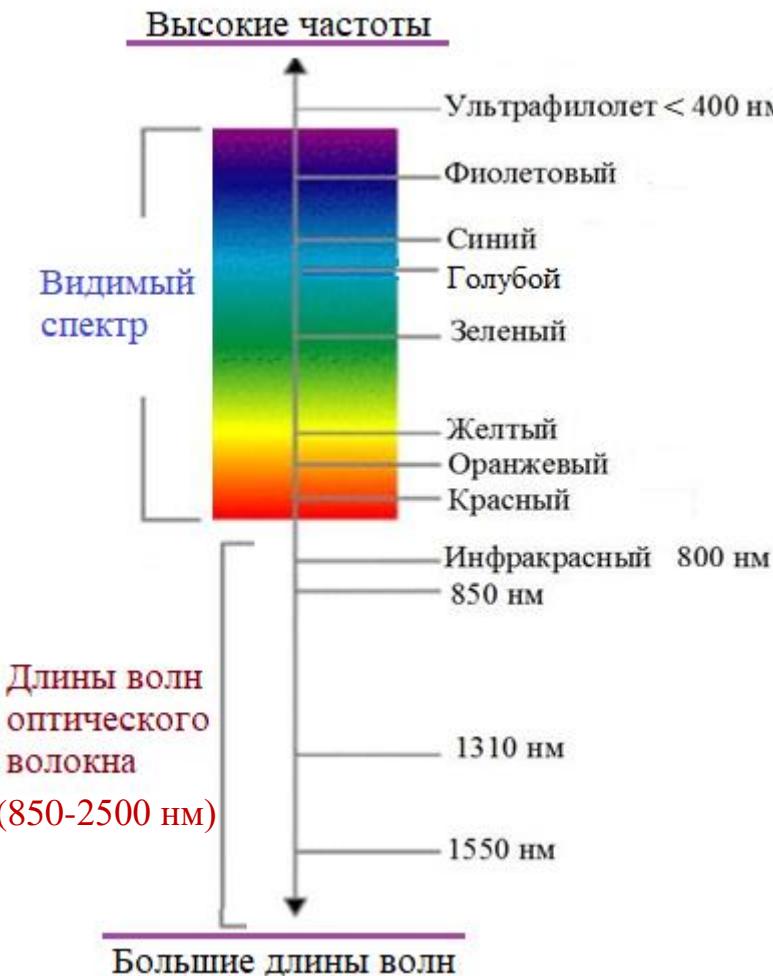
**$n_1$  и  $n_2$**  — показатели (коэффициенты) преломления сердцевины и оболочки соответственно, причем  $n_1 > n_2$  ( $n \geq 1$ )



- 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
<b>Красный</b>	625—740	480—405
<b>Оранжевый</b>	590—625	510—480
<b>Жёлтый</b>	565—590	530—510
<b>Зелёный</b>	500—565	600—530
<b>Голубой</b>	485—500	620—600
<b>Синий</b>	440—485	680—620
<b>Фиолетовый</b>	380—440	790—680

## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно: одно- и многомодовое

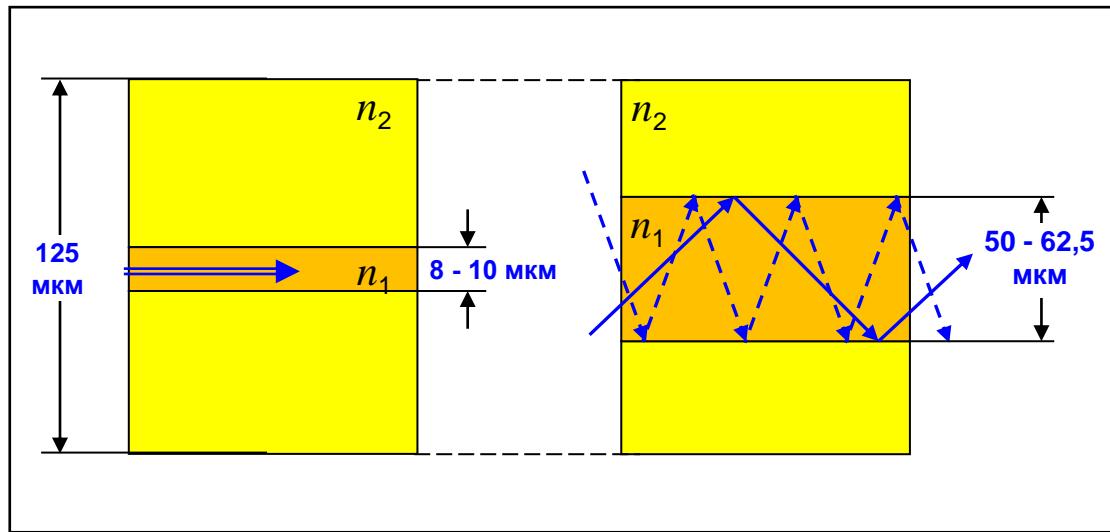
#### Оптические волокна

Одномодовые

Многомодовые

#### Процессы в оптоволокне:

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

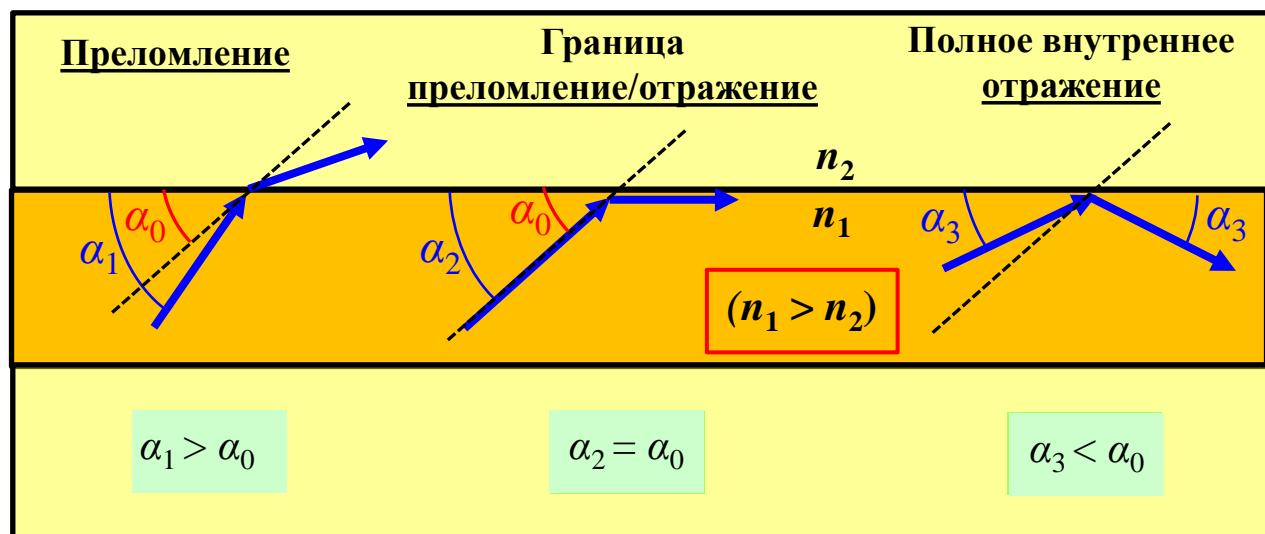


#### Коэффициент преломления:

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

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:

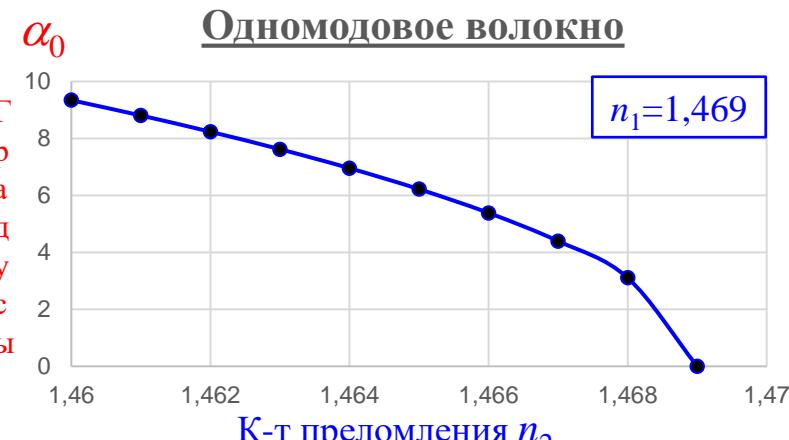
$$NA = n \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$\alpha_0$  - 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 ...

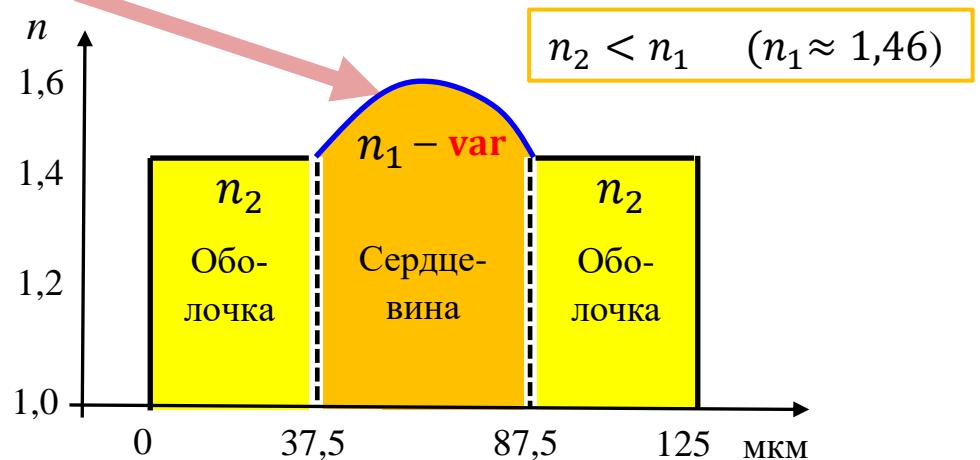
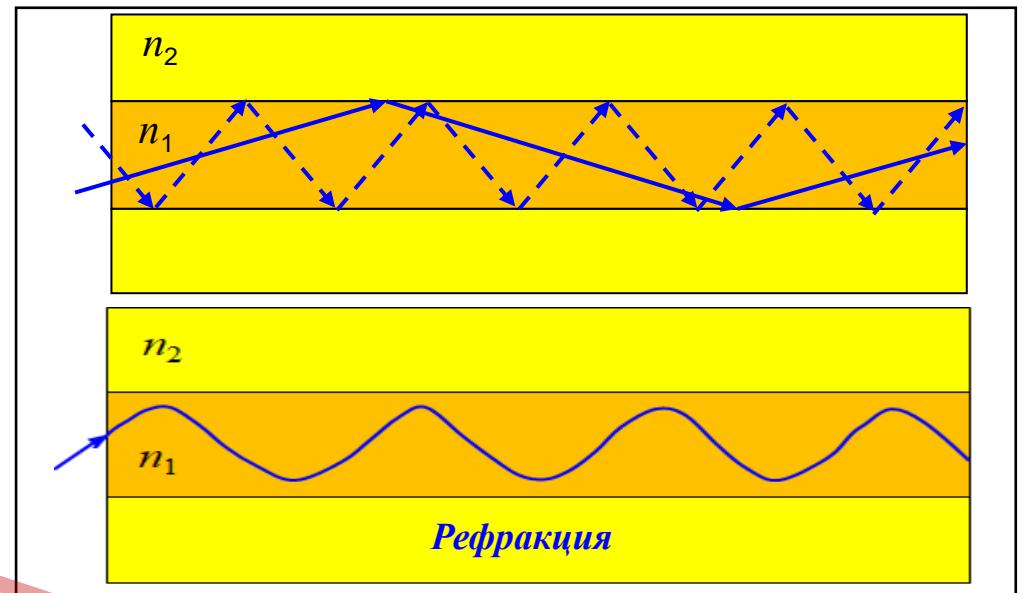
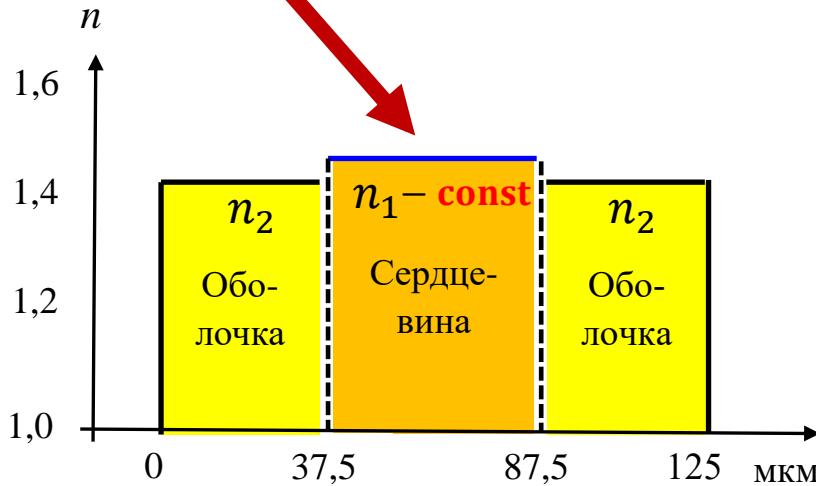
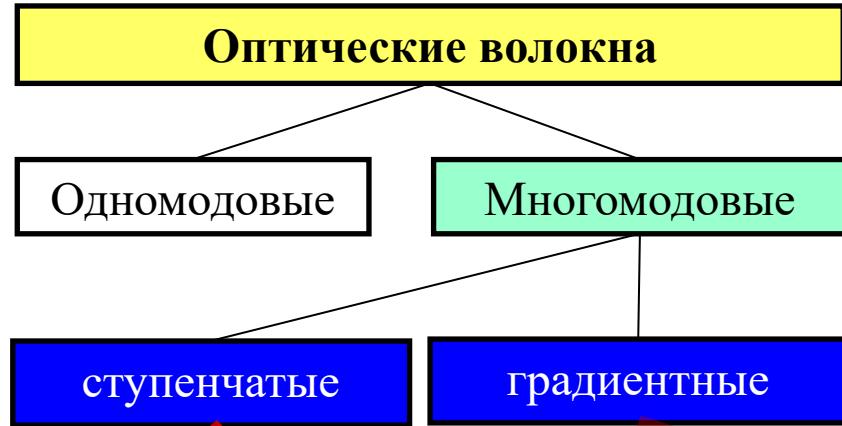
... одномодового –  
около 0,1 ( $\sim 5,5^\circ$ )

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



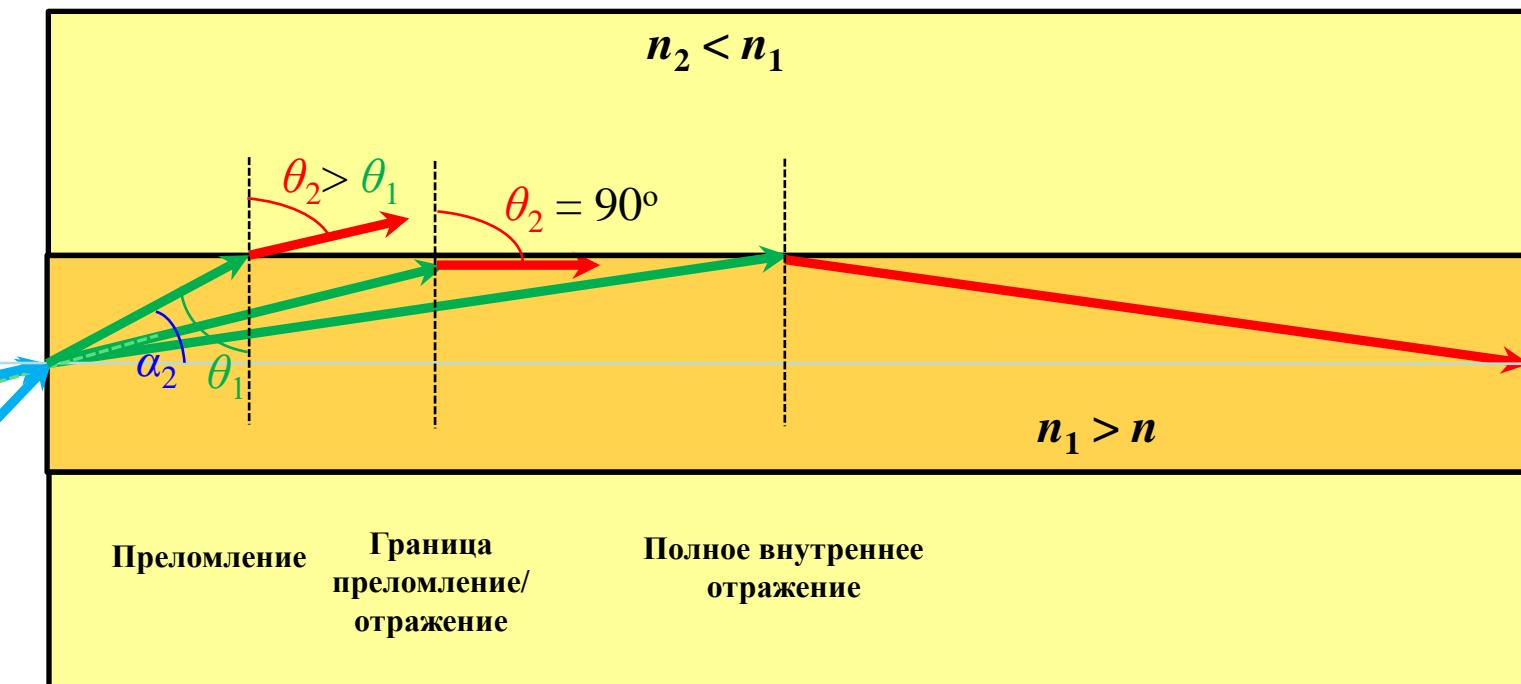
## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно: многомодовое



## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно: свойства



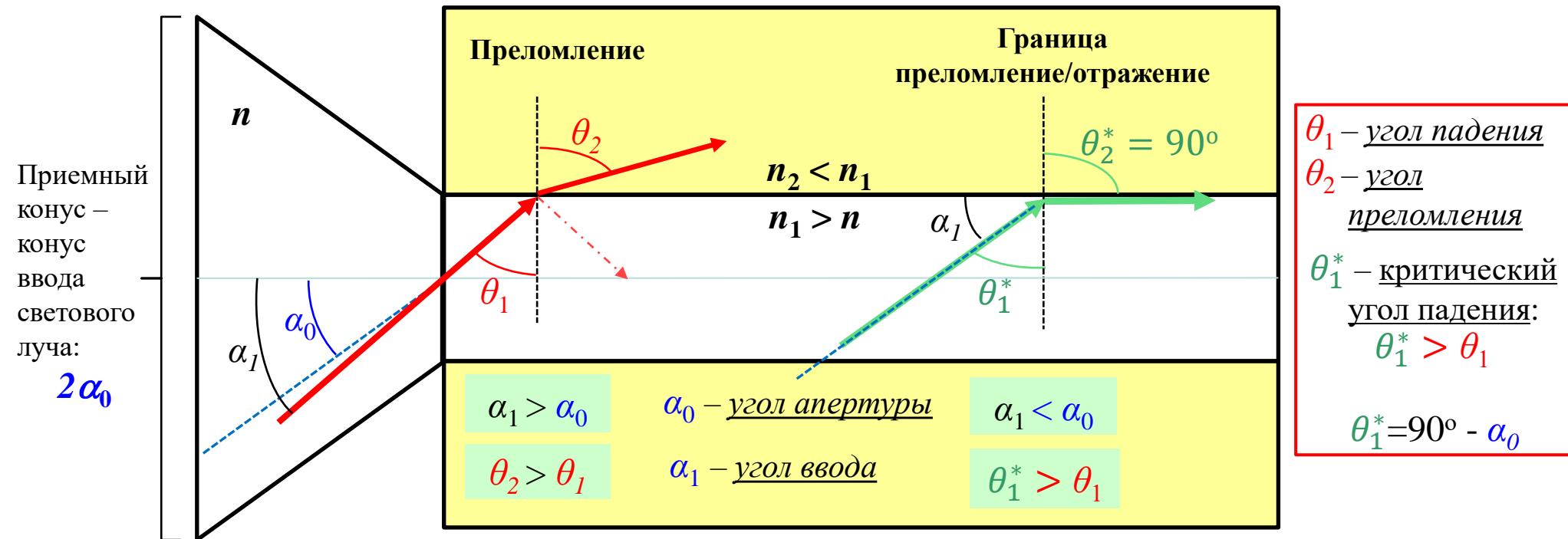
$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – соответственно угол ввода и угол преломления на границе воздух – сердцевина  $(\alpha_2 = \alpha_1 = \alpha_0)$

$\theta_1$  и  $\theta_2$  – 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



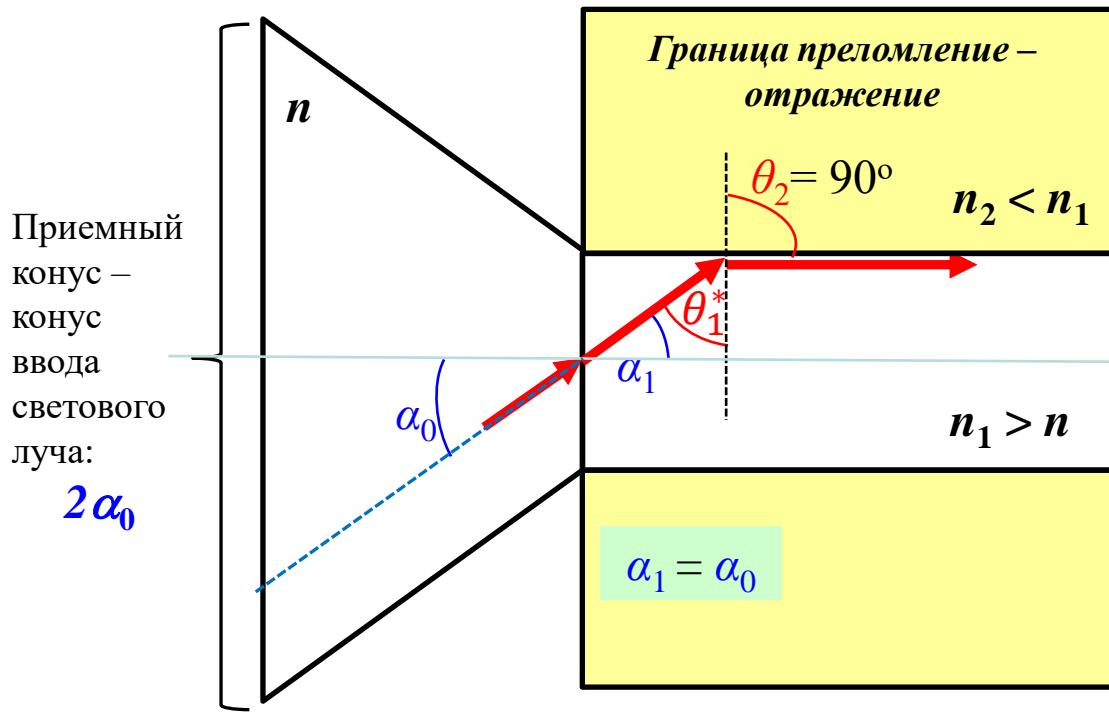
Закон Снеллиуса: преломление света на границе двух прозрачных сред (числовая апертура неизменна):  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \implies n_i = \frac{c}{v_i} \quad (i = 1, 2) \implies \frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$

$\theta_1^* = \arcsin(n_2/n_1)$  – 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



$\alpha_0$  – угол апертуры /  $\alpha_1$  – угол ввода  
 $\theta_1$  – угол падения /  $\theta_2$  – угол преломления  
 $\theta_1^*$  – критический угол падения ( $\theta_2=90^\circ$ ):  
 $\alpha_1 = 90^\circ - \theta_1^*$

Закон Снеллиуса:

$$\left\{ \begin{array}{l} n \sin \alpha_0 = n_1 \sin \alpha_1 \\ n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \\ \sin \alpha_1 = \sin(90^\circ - \theta_1^*) = \cos \theta_1^* \end{array} \right. \quad \theta_1 = \theta_1^*, \text{ если } \theta_2 = 90^\circ$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n \sin \alpha_0 = n_1 \cos \theta_1^* \\ n_1 \sin \theta_1^* = n_2 \end{array} \right. \quad \sin \theta_1^* = \frac{n_2}{n_1}$$

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)  $\theta_1^*$  светового луча определяется из условия:  $\theta_2=90^\circ$ .

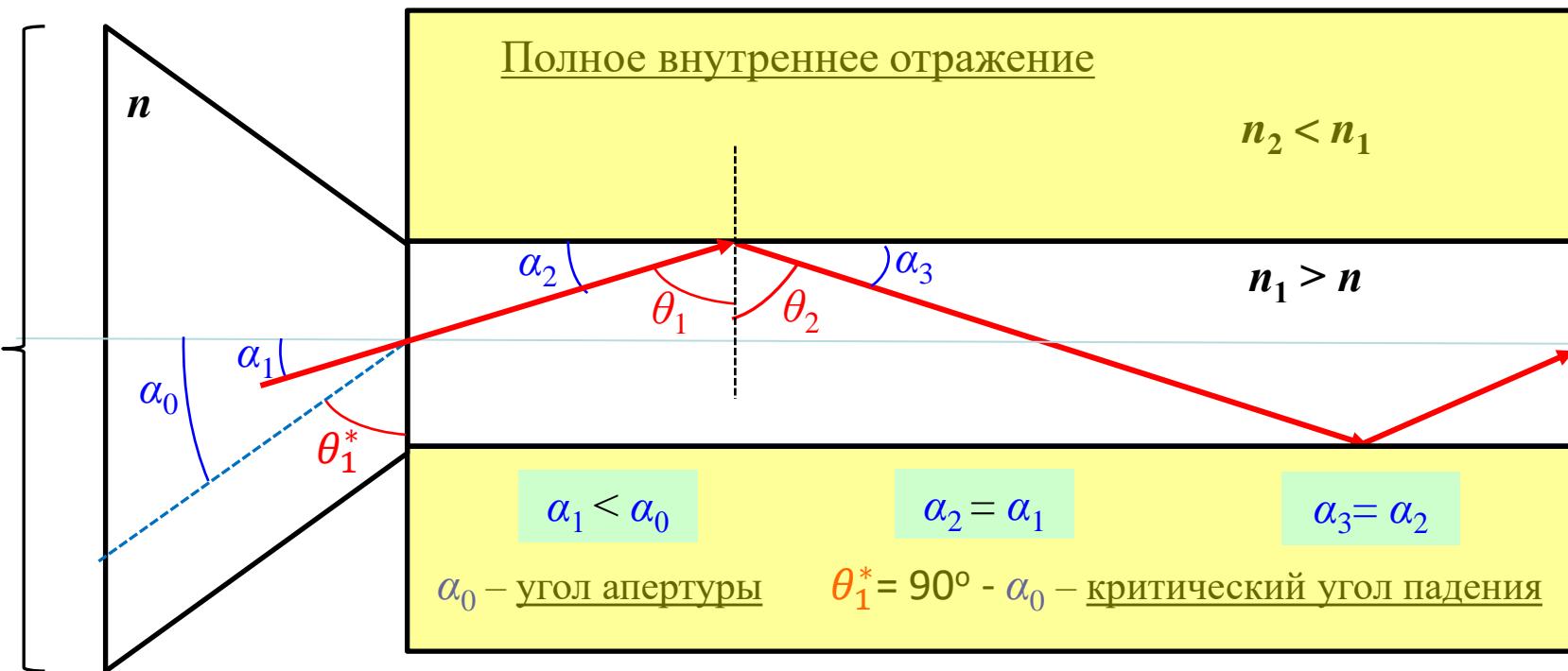
Для полного внутреннего отражения светового луча необходимо, чтобы угол падения луча:  $\theta_1 > \theta_1^*$ .

## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно: отражение

Приемный  
конус –  
конус  
ввода  
светового  
луча:

$$2\alpha_0$$



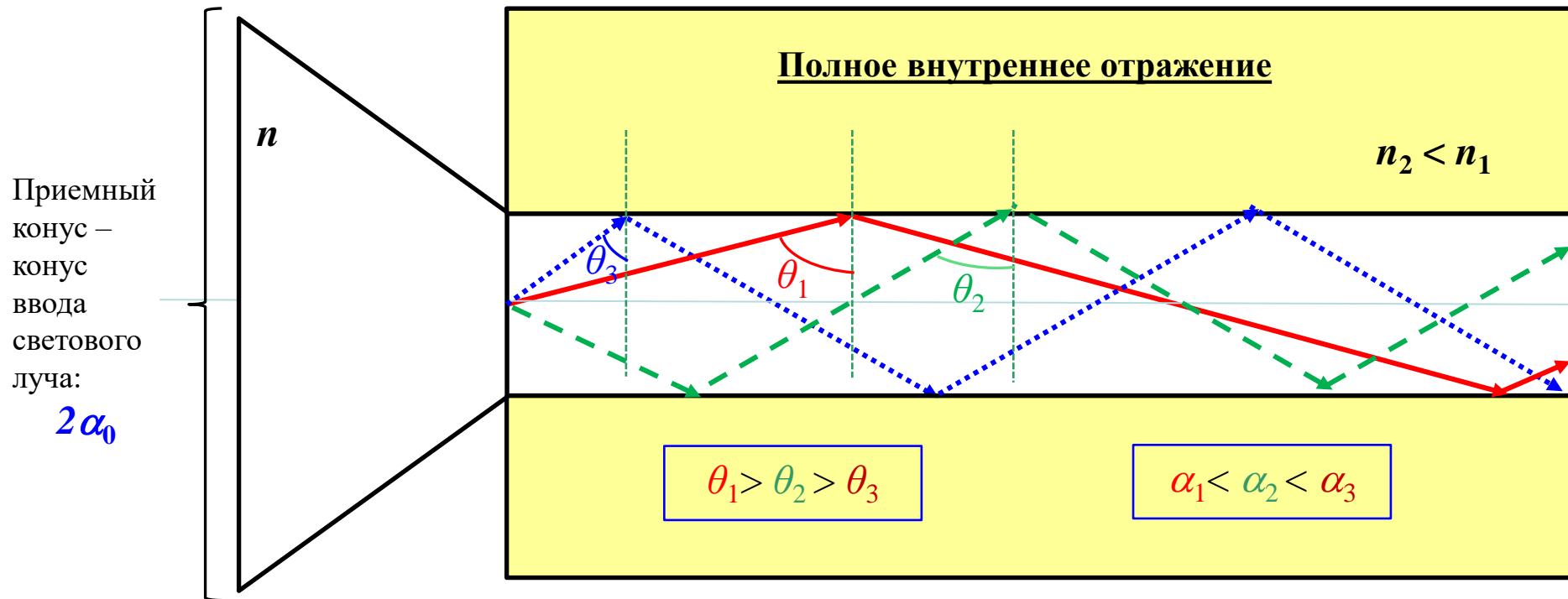
$$\theta_1^* = \arcsin(n_2/n_1) - \text{критический угол (граница) ввода светового луча из условия: } n_1 \sin \theta_1^* = n_2.$$

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.

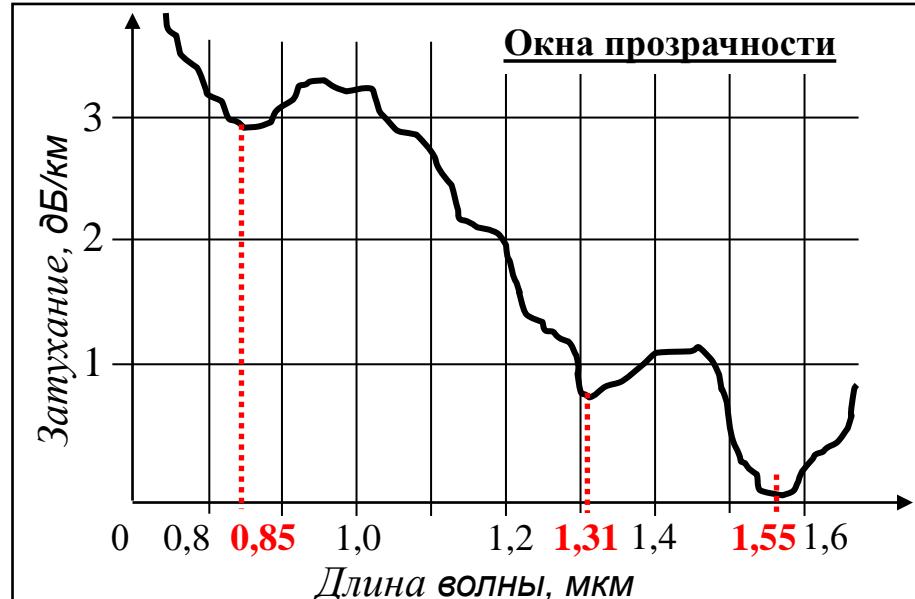
## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 1. Оптическое волокно: характеристики

#### 1. Затухание [дБ/км]

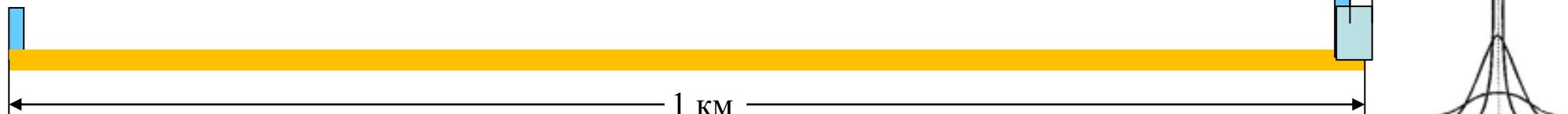
Обозначение	Диапазон, нм	Название
O	1260...1360	Основной
E	1360...1460	Расширенный
S	1460...1530	Коротковолновый
C	1530...1565	Стандартный
L	1565...1625	Длинноволновый
U	1625...1675	Сверхдлинноволновый

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



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).



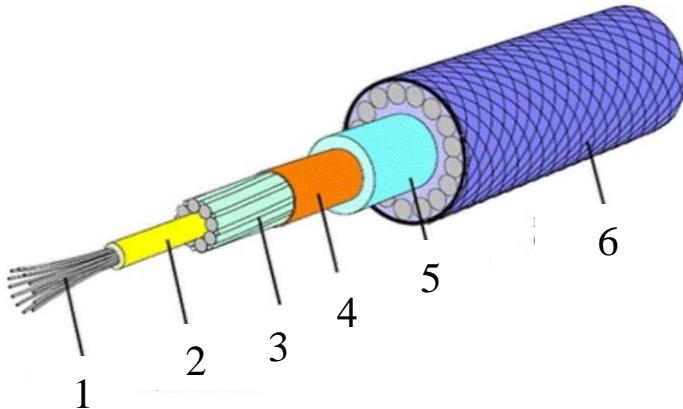
Полоса пропускания:  $\Pi = I / \Delta T$  [МГц \* км]

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

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

## 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:

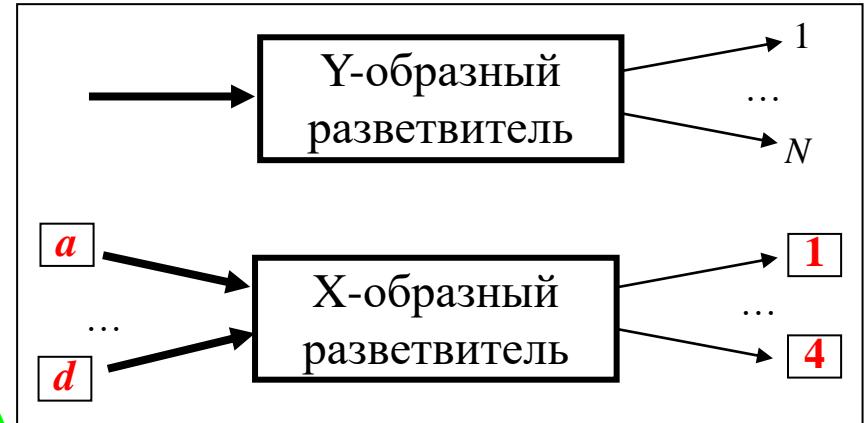
- высокая пропускная способность;
- отсутствие электромагнитного излучения;
- помехоустойчивость;
- большое расстояние передачи;
- малый вес;
- высокое электрическое сопротивление, обеспечивающее гальваническую развязку;
- умеренная стоимость.

## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

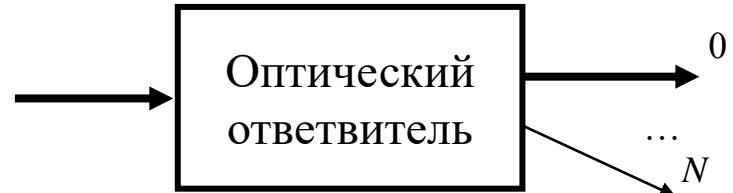
### 3. Оптические компоненты

- 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
- 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.

Направленные

Ненаправленные

Чувствительные  
к длине волны

Нечувствительные  
к длине волны

Древовидные (Y)

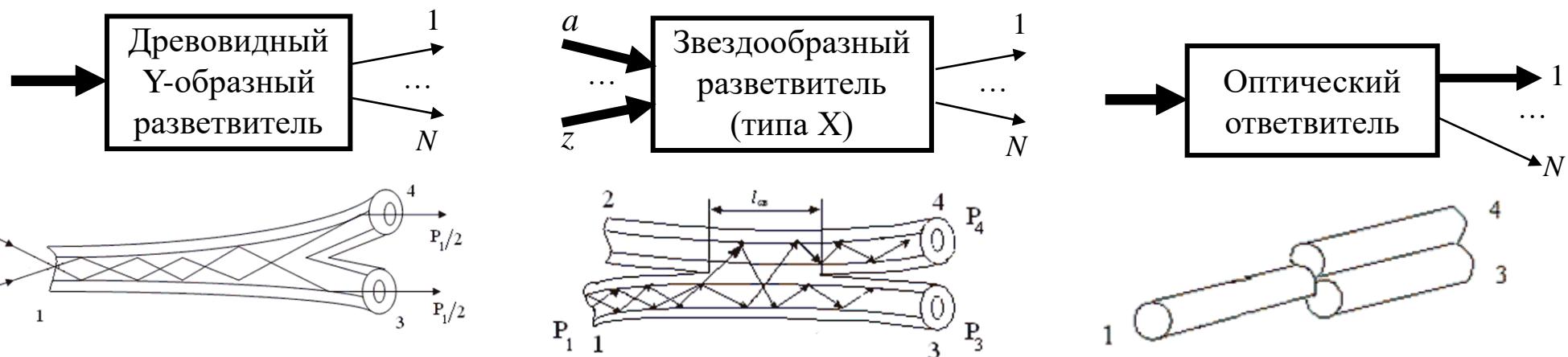
Звездообразные (X)

Симметричные

Несимметричные

Биконические

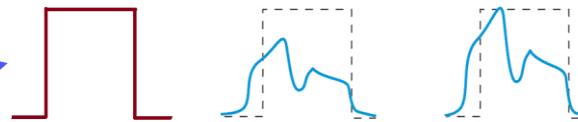
Торцевые



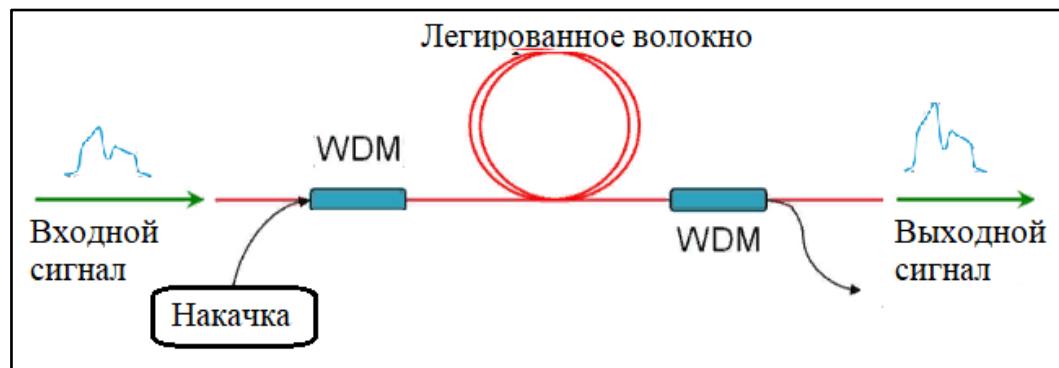
## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 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.

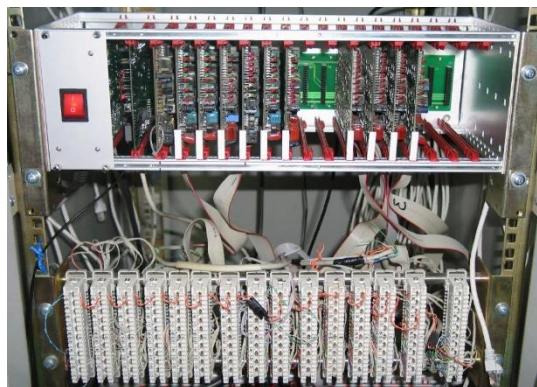
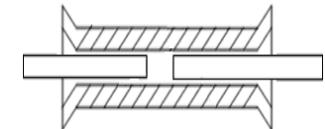
Перестраиваемые

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)

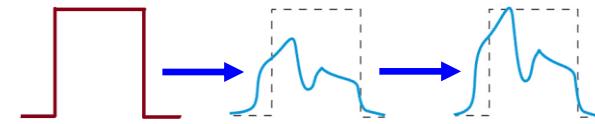
### 4. Электронные компоненты систем оптической связи

#### **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:

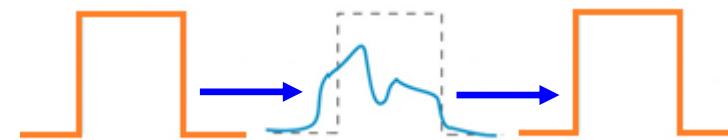
- накапливаются искажения формы;
- девиация задержки сигналов (потеря синхронизации).



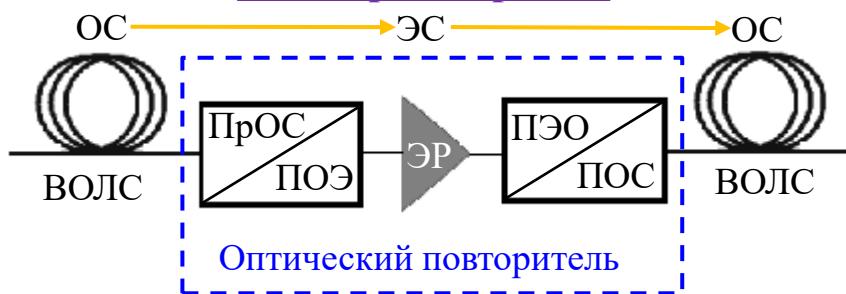
**Оптический регенератор** (англ. *optical regenerator*) — компонент оптической системы связи, предназначенный для восстановления цифрового оптического сигнала.

#### Полная регенерация (3R регенерация):

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



#### Схема регенерации



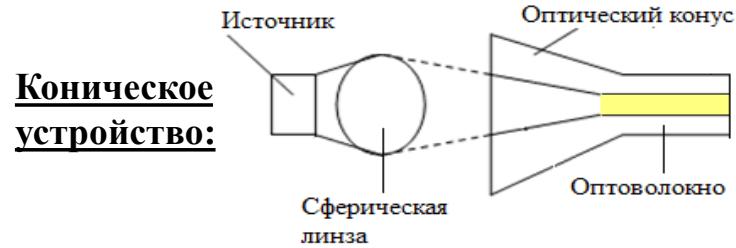
#### Опто-электро-оптическое преобразование:

- 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.

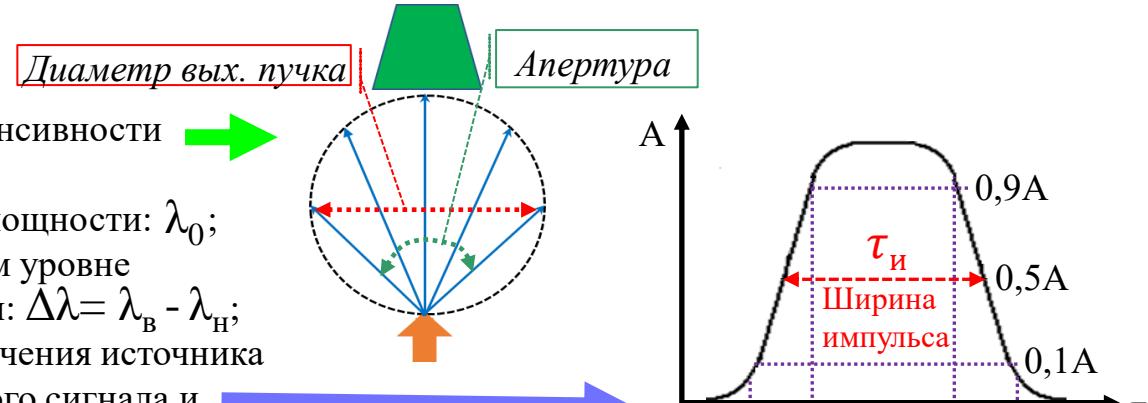
#### Характеристики светодиодов:

- **мощность излучения** (1 – 5 мВт);
- **диаграмма направленности** – зависимость интенсивности излучения от направления;
- **длина волны излучения** – волны максимальной мощности:  $\lambda_0$ ;
- **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:

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

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



$$\text{При } \tau_H = \tau_0 = \tau_c: \Delta f = 1/(3\tau_H)$$

$$\text{При } \tau_H = 1 \text{ нс}: \Delta f = 330 \text{ МГц}$$

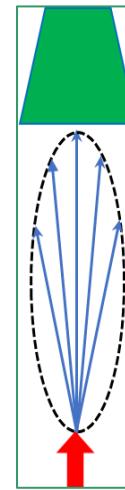
## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### 4. Электронные компоненты систем оптической связи

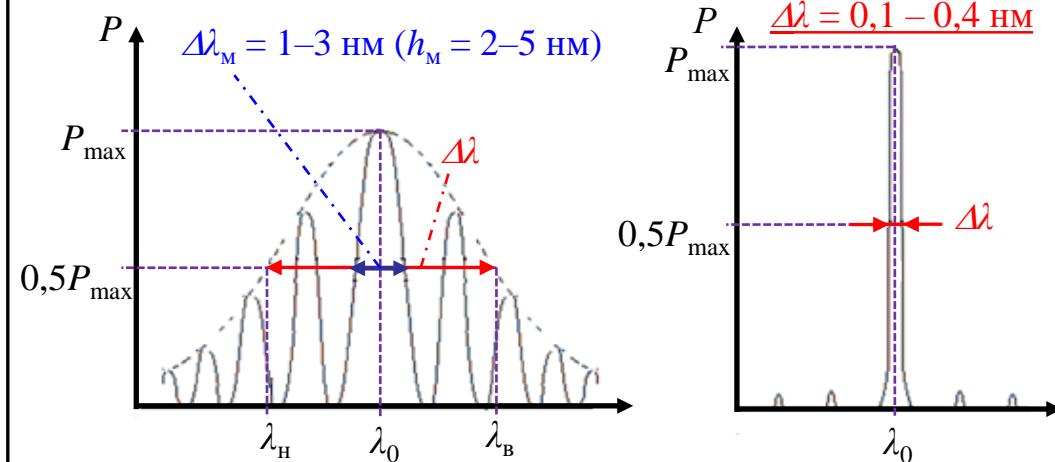
Полупроводниковый (диодный) лазер преобразует электрическую энергию в энергию светового когерентного излучения.

#### Характеристики лазера:

- **мощность излучения** зависит от тока накачки и от температуры среды (до 100 мВт);
- **диаграмма направленности** излучения – эллиптический конус;
- **длина волны излучения** моды  $\lambda_0$ ;
- **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

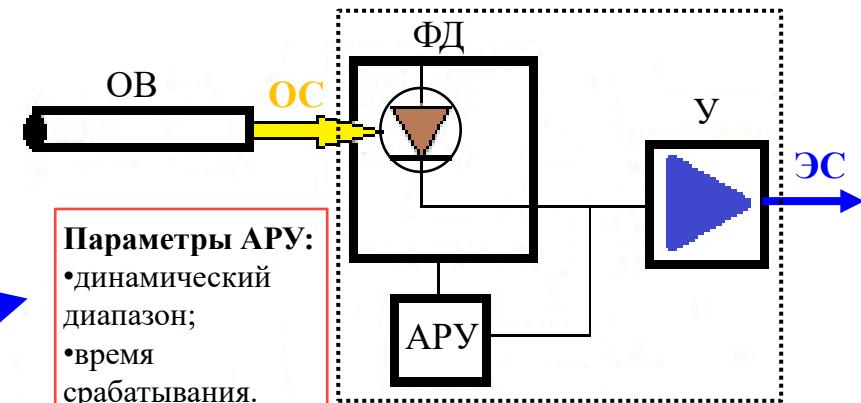
1. Оптические регенераторы.
2. Передатчики со светоизлучающим диодом (светодиоды) и полупроводниковые (диодные) лазеры.
- 3. Приемники оптического излучения.**
4. Устройства частотной и фазовой модуляции излучения.

**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).



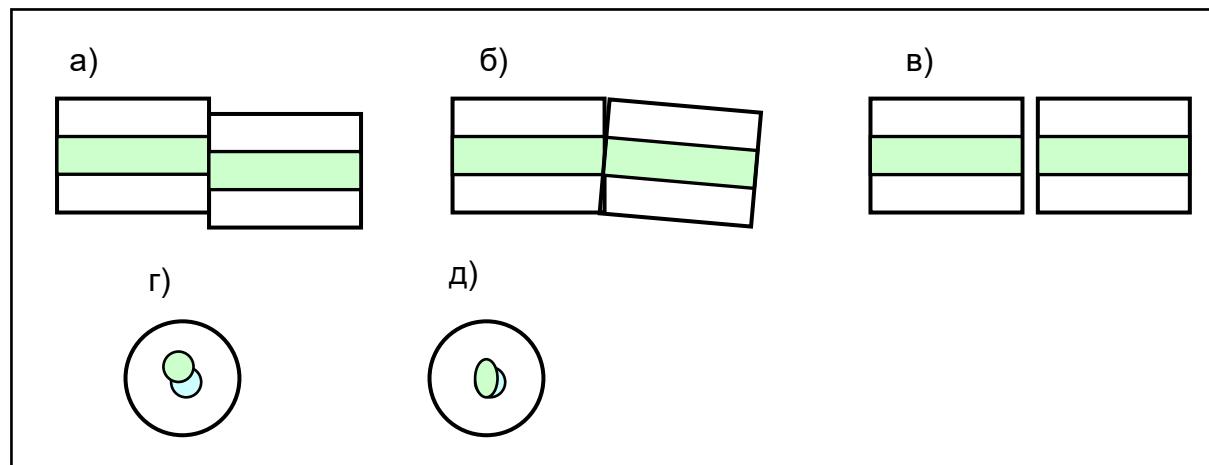
В местах сращивания оптических волокон возникают *потери энергии*, обусловленные:

#### 1) внешними факторами:

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

#### 2) внутренними факторами:

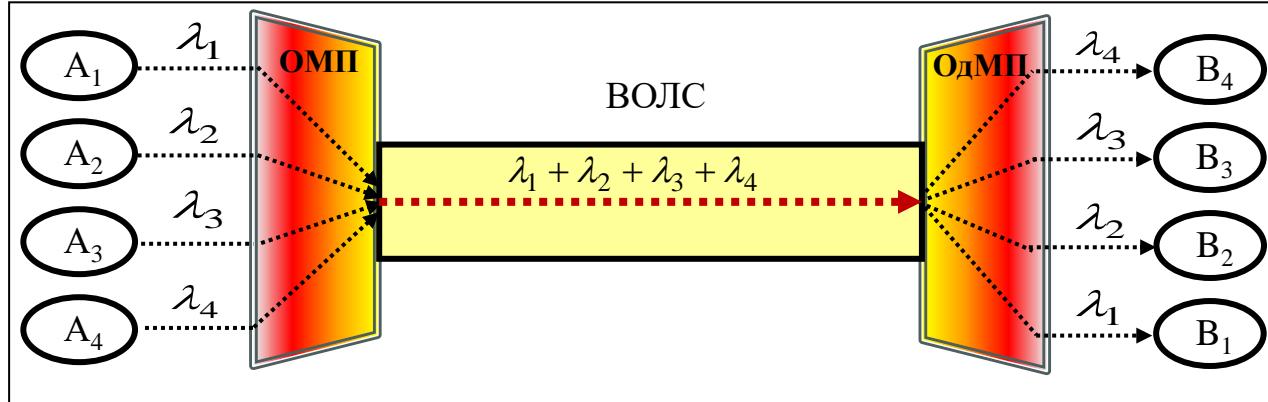
- эксцентризитет сердцевины (г);
- эллиптичность сердцевины (д).



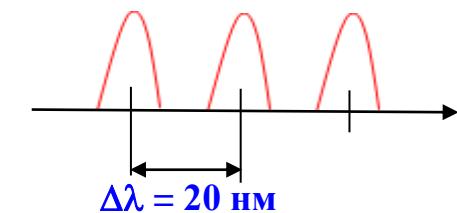
## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### Технология волнового мультиплексирования WDM (спектральное уплотнение)

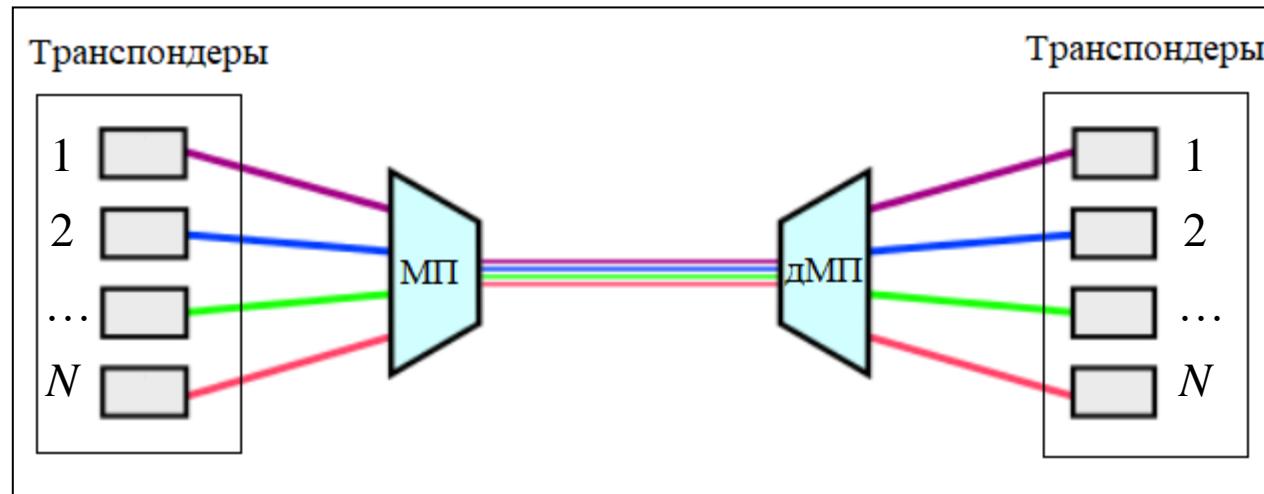
#### Грубое волновое мультиплексирование CWDM (Coarse WDM):



до 16 спектральных каналов (волн) по 2,5 Гбит/с в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм с разносом 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 разносом несущих в **1,6 нм** и **0,8 нм**

## 2.3. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

### Перспективы ВОЛС

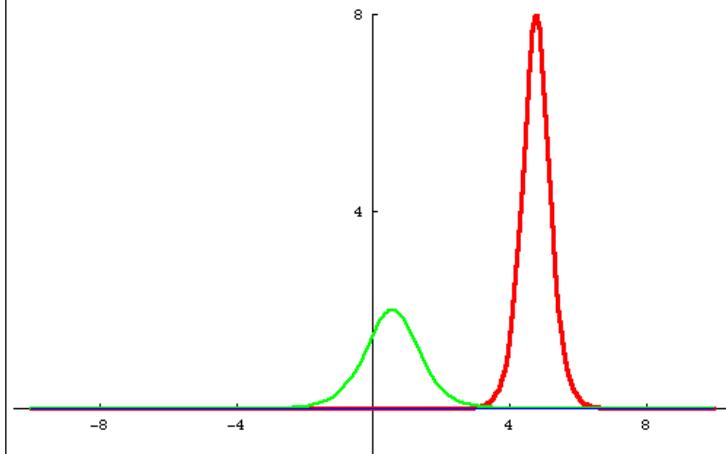
#### Солитоновые системы

**Солитон** - **удединенная 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 С (до 16 МГц);
- класс D (до 100 МГц);
- класс Е (до 250 МГц);
- класс Е(А) (до 500 МГц);
- класс F(А) (до 600 МГц).

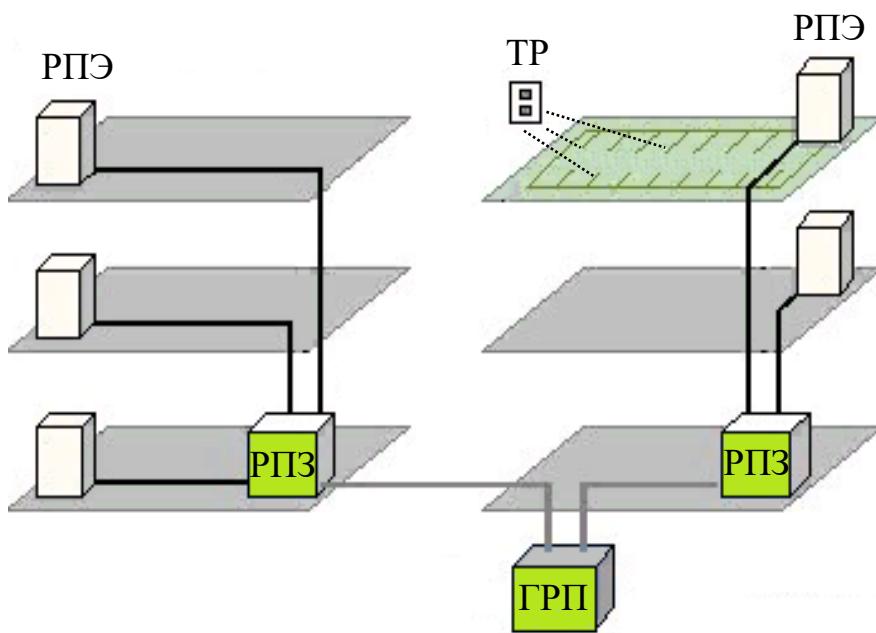
## 2.4. Кабельные системы

### 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**