

**Учебный курс
«ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

Тема :

**Волоконно-оптические технологии и
техника**

Лектор:

кфмн, доцент Гришачев Владимир Васильевич

Программа курса

ЛЕКЦИИ

- I. Фотонные технологии
- II. Волоконно-оптический транспорт
- III. Волоконно-оптические преобразователи
- IV. Волоконно-оптическая техника
- V. Рефлектометрия оптических волокон

- VI. Коллоквиум

- VII. Лабораторный практикум

Лекция 3-4

«Волоконно-оптический транспорт»

1. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов.
2. Оптическое волокно и кабель.
3. Волоконно-оптические телекоммуникации.
4. Волоконно-оптический абонентский доступ.
5. Преимущества волоконно-оптического транспорта информации и энергии.
6. Применение волоконно-оптических технологий передачи информации и энергии в системах безопасности объектов информатизации.

Волоконно-оптический транспорт

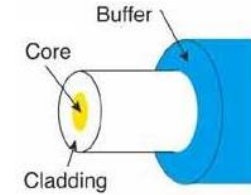
○ **Понятие**

физическая инфраструктура позволяющая передавать информацию и энергию потребителю на основе волоконно-оптических технологий, т.е. с использованием

- ❖ волоконно-оптических волноводов (световодов, оптоволокна) с возможностью коммутации световых потоков;
- ❖ генерации световых потоков, их модуляции и ввода в волоконно-оптические волноводы;
- ❖ обратного преобразования, вывода из волоконно-оптического волновода и демодуляция

с основным назначением – передача энергии и информации

1. Оптоволокно



○ **Транспортная среда для информации и энергии**

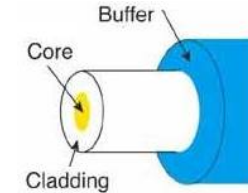
основой систем передачи оптического излучения является оптическое волокно – оптический волновод цилиндрической гибкой конструкции выполненный из диэлектрических материалов и направляющий оптическое излучение при осевом направлении на основе явления полного внутреннего отражения;

отличительная особенность данного транспорта оптического излучения:

- гибкость конструкции, обусловленная малым поперечным сечением волокна, которое позволяет изгибать его в широких пределах без существенных изменений его оптических и механических параметров;
- отсутствие в конструкции проводящих элементов – металлических и полупроводниковых элементов;
- а также улучшенные параметры передачи информации и энергии в виде оптического излучения;

1. Оптоволокно

○ **Транспортная среда для информации и энергии**



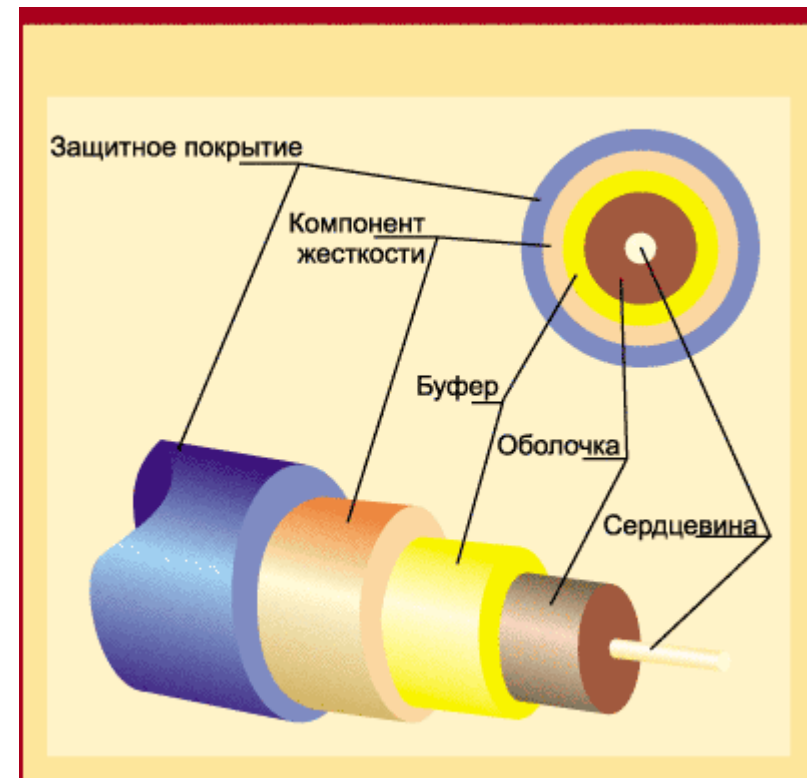
общая конструкция волоконно-оптического монтажного шнура (пигтейла), включает оптическое волокно (сердцевина, оболочка) и защитные элементы (буфер, компоненты жесткости, защитное покрытие):

оптическое волокно –

передающая свет оптическая среда, предназначенная для максимально без потерь и искажений направлять излучение от передатчика к приемнику;

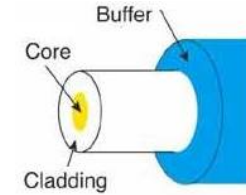
защитные элементы –

не оптические материалы защищающее волокно от агрессивного воздействия окружающей среды, влияющие на оптические характеристики волокна;



1. Оптоволокно

○ Структура



оптическое волокно состоит из двух со-осных цилиндрических областей: сердцевины с показателем преломления n_1 и оболочки с показателем преломления $n_2 < n_1$, в результате при углах падения $\varphi > \varphi_c$ свет не преломляется в оболочку, оставаясь в сердцевине

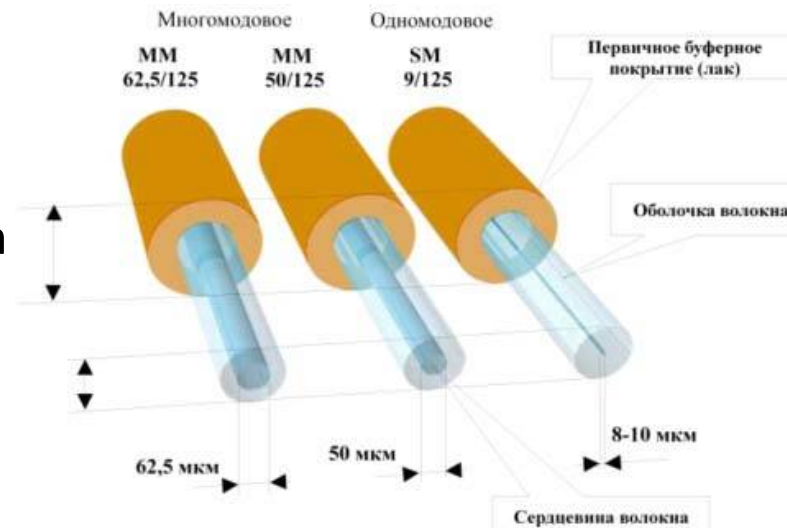


характерные размеры структур волокна

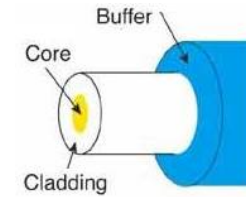
диаметр сердцевины	$5 \div 200 \mu\text{m}$
диаметр оболочки	$80 \div 250 \mu\text{m}$
диаметр защитных покрытий	до $900 \mu\text{m}$

типичные параметры стеклянных волокон

$62,5/125 \mu\text{m}$; $50/125 \mu\text{m}$; $9/125 \mu\text{m}$;

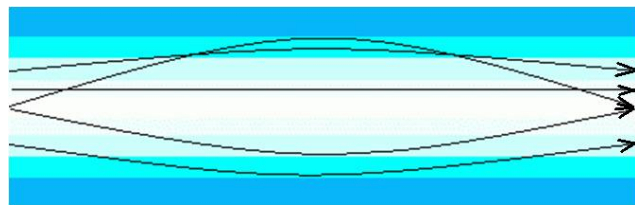


1. Оптоволокно

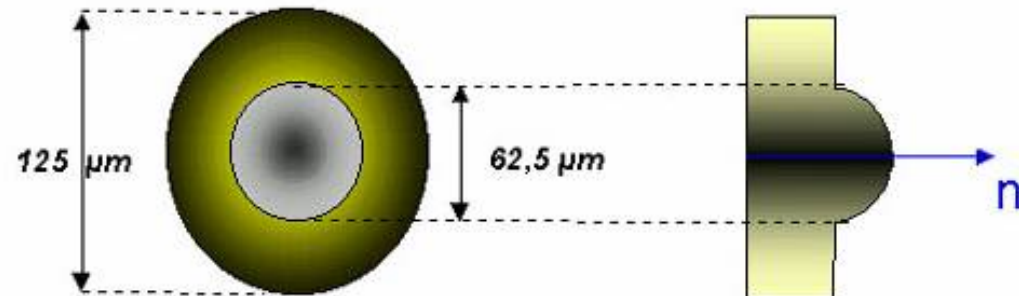


○ Структура

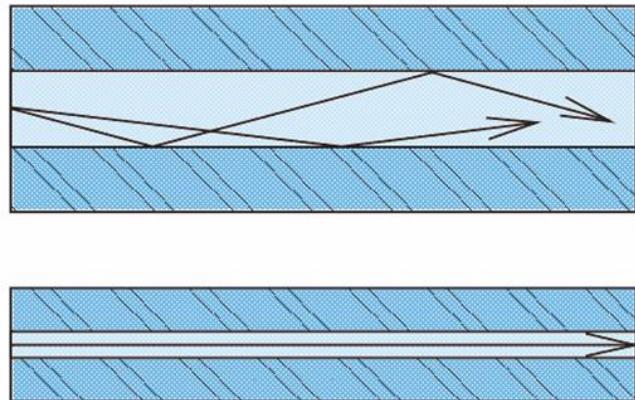
профиль показателя преломления в сердцевине волокна
градиентное



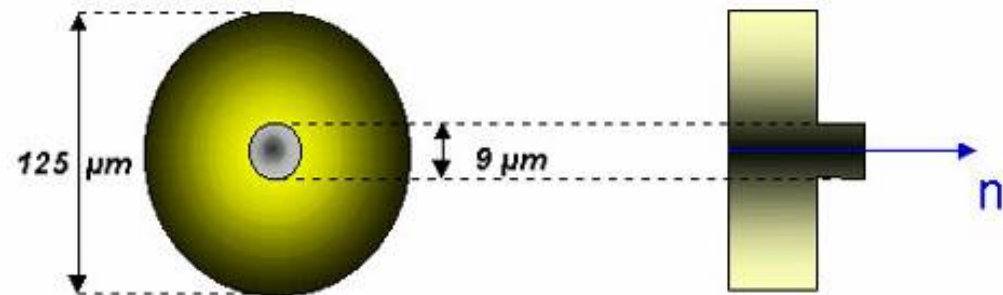
ГРАДИЕНТНОЕ МНОГОМОДОВОЕ ВОЛОКНО



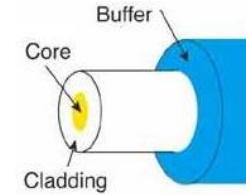
ступенчатое



СТУПЕНЧАТОЕ ОДНОМОДОВОЕ ВОЛОКНО

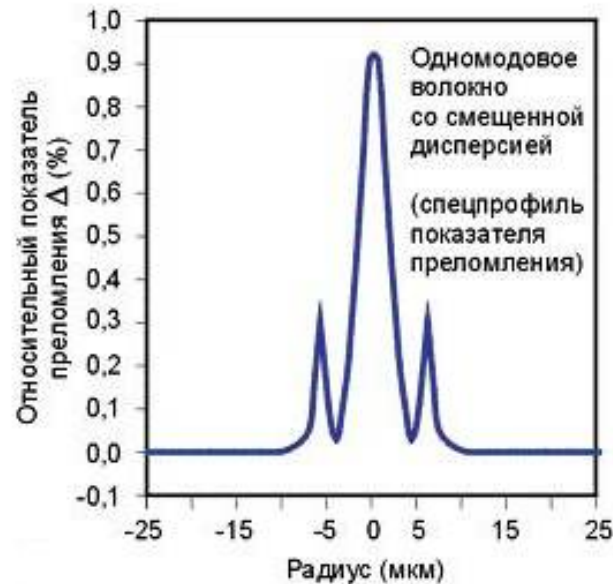
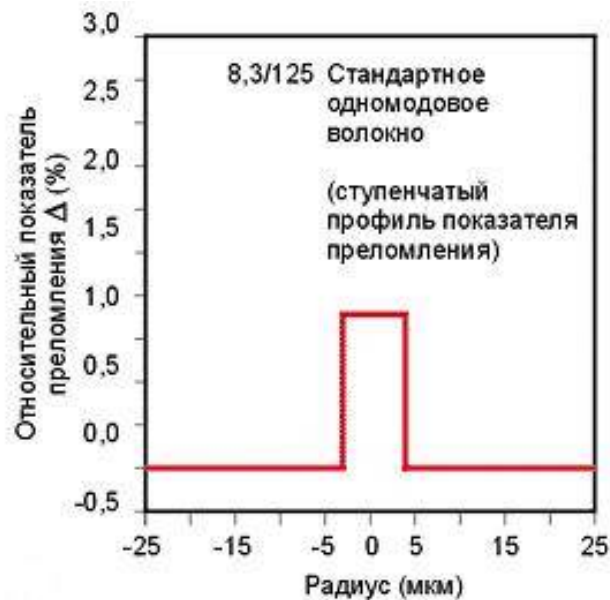


1. Оптоволокно



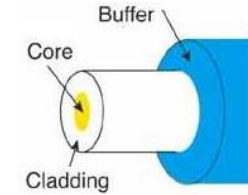
○ Структура

профиль показателя преломления в сердцевине волокна влияет на параметры оптического волокна как транспортной среды
на модовый состав и дисперсионные характеристики волокна
на сохранение свойств при механических воздействиях – предельных величинах изгибов
стандартный профиль сложное распределение



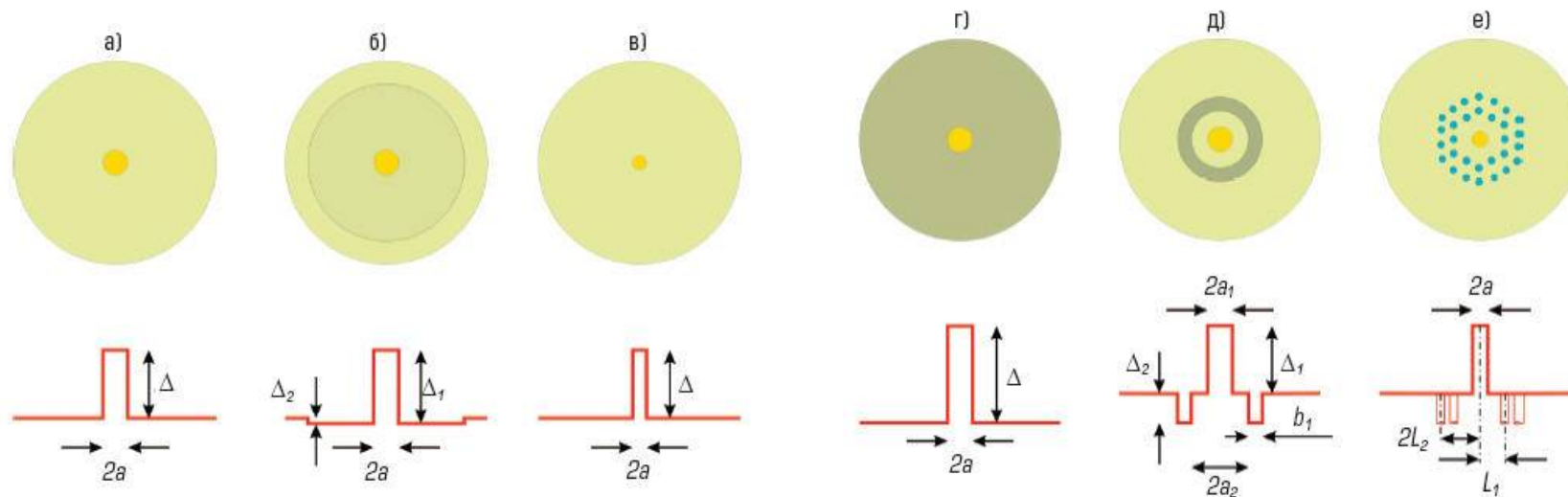
1. Оптоволокно

○ Структура



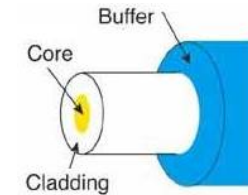
профили показателей преломления одномодовых оптических волокон:

a — волокно с традиционным ступенчатым профилем показателя преломления; *б* — волокно с депрессированной оболочкой; *в* — волокно с уменьшенной сердцевиной и, соответственно, уменьшенным диаметром модового поля; *г* — волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки; *д* — волокно, с кольцевой «траншеей» в оболочке; *е* — дырчатое волокно (Holed Assisted Fiber, HAF) с уменьшенными потерями на изгибах — для уменьшения радиуса изгиба кабеля



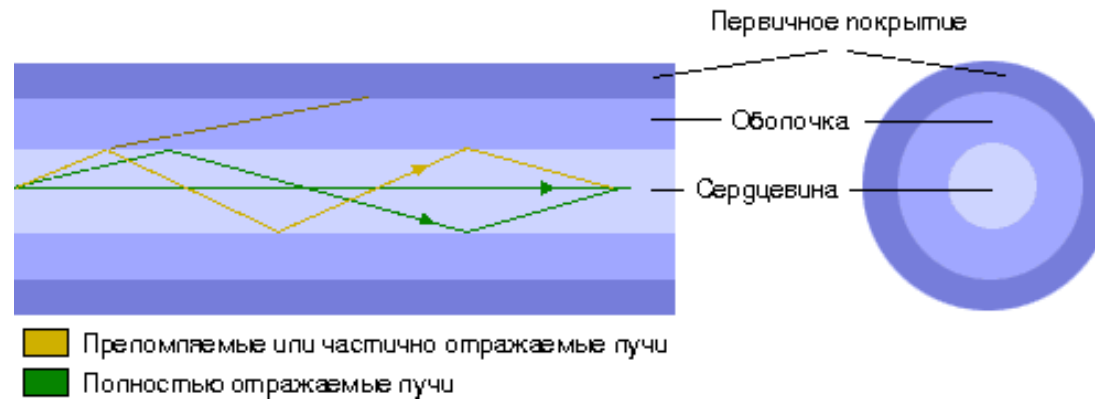
1. Оптоволокно

○ Структура

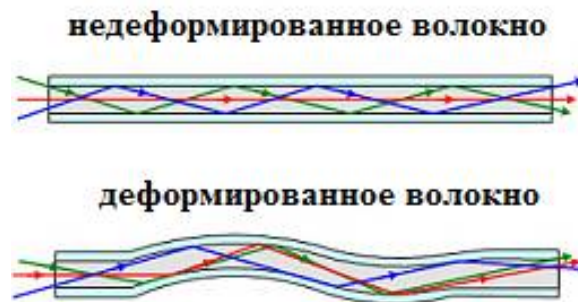


особенности распространения света

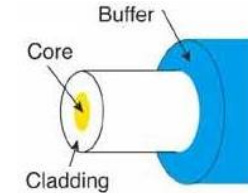
излучение с углами падения меньшими предельного покидают волокно



при малых деформациях и изгибах излучение остается в волокне



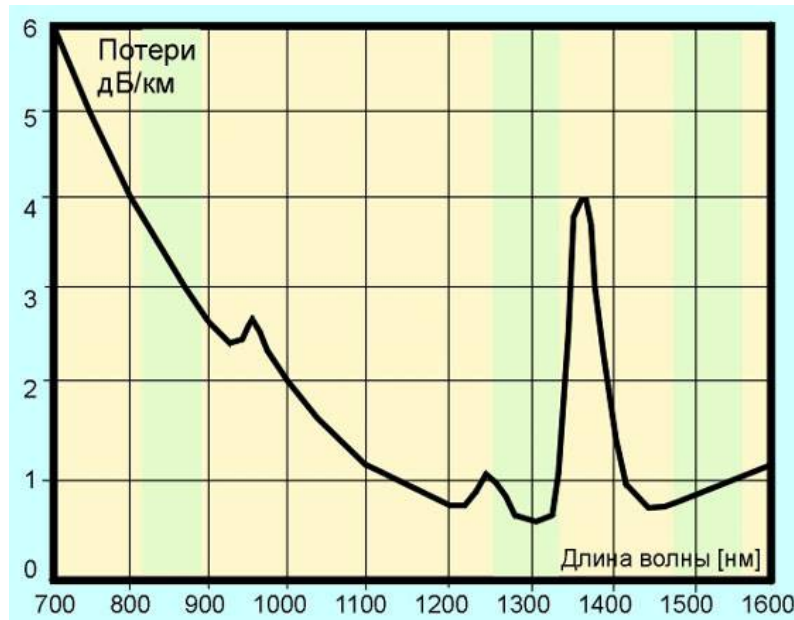
1. Оптоволокно



○ **Материалы: оптическое стекло**

на основе плавленного кварца с большим количеством при 30-40% SiO_2
основные параметры определяются примесями, с помощью которых
добиваются широкого значения оптических параметров:

показатель преломления от 1,47 до 2,04;



плавленный кварц, SiO_2

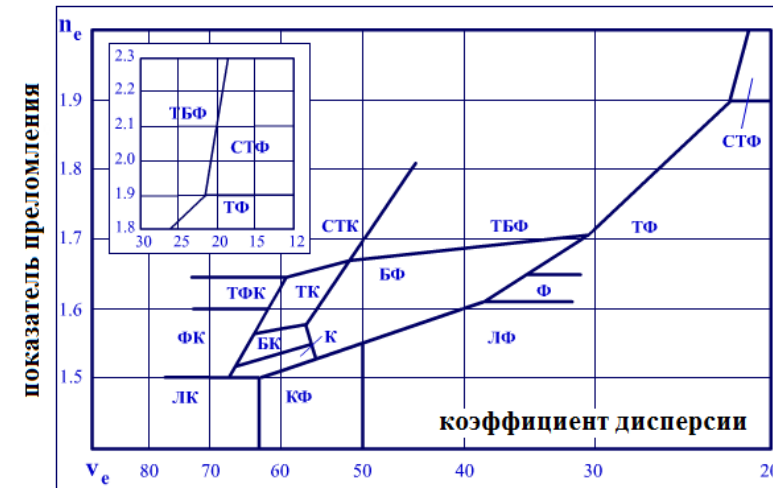


диаграмма Аббе

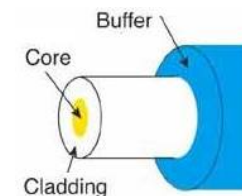
Стандарт ИСО 7944-84

n_e для длины волны 546,97 нм спектральной линии ртути E и $n_r - n_e$ для длин волн 479,99 и 643,85 нм спектральных линий F и C кадмия,

коэффициента дисперсии (числом Аббе): $v_e = (n_e - 1) / (n_r - n_e)$

применение - используется для изготовления оптических элементов, волоконно-оптических усилителей и лазеров и др.

1. Оптоволоконно



○ **Материалы: плавеный кварц**

аморфный кварц, SiO_2 , чистое стекло с диапазоном прозрачности 160-3500 нм
в видимой области (VIS) поглощение $\sim 3 \text{ dB/km}$,
в инфракрасной области $\sim 0,3 \text{ dB/km}$ (NIR),
минимальное значение $\sim 0,15 \text{ dB/km}$ для $\lambda=1550 \text{ nm}$

показатель преломления $\sim 1,46$ угол Брюстера $55,58^\circ$

типичная концентрация примесей — 10-1000 ppm, влияющие на
потери: Fe, Cu, Cr и, OH^-

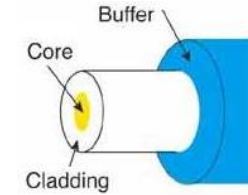
показатель преломления: Ge и P для роста, B и F для уменьшения n

усиление: Yb (иттербий, 1,06 – 1,3 мкм), Er (эрбий, 1,5 мкм)

применение

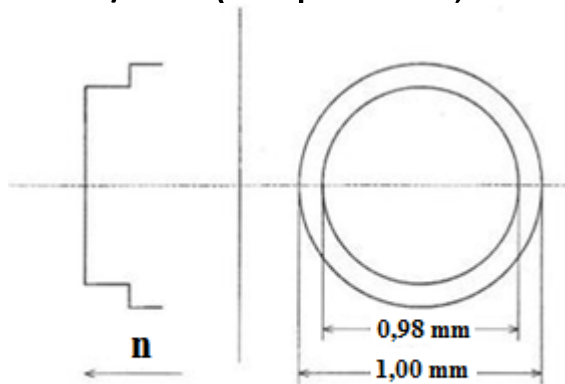
используется для изготовления телекоммуникационного оптоволоконна,
волоконно-оптических лазеров и усилителей

1. Оптоволокно



○ **Материалы: оптические полимеры (пластмассы)**

диапазон показателей преломления – от 1.3 до 1.6, затухание более 100 dB/km (Step Index, SI POF), в лучших 10-20 dB/km (Gradient Index, GI POF)

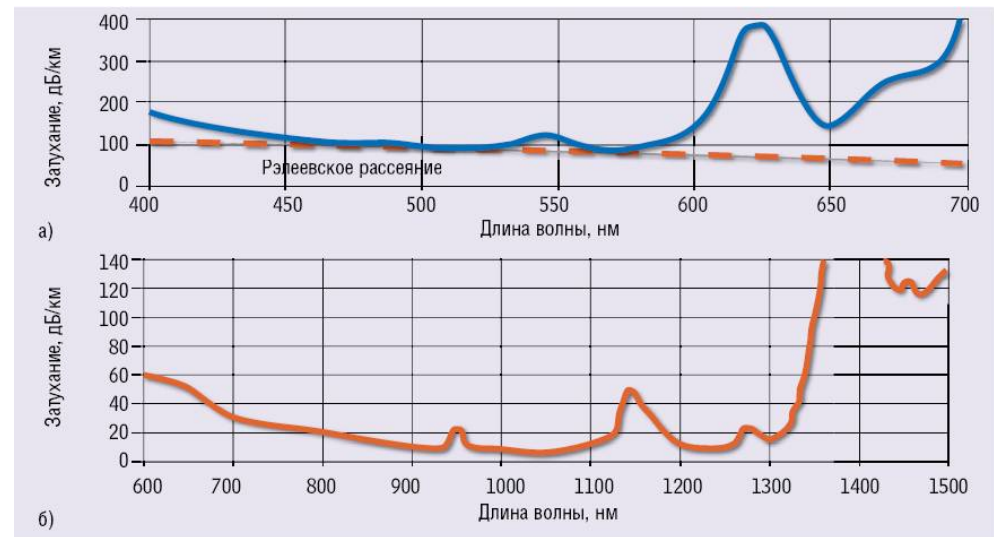


конструкция SI POF

применение

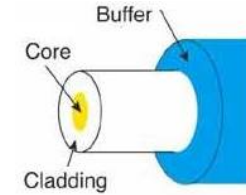
используется в локальных систем передачи информации со скоростями до 1 Гб/с на 80 м и 0.6 Гб/с на 200 м в GI POF, осветительных систем и др.

POF: сердечник из полиметилметакрилата (PMMA) с коэффициентом преломления $n=1.492$, оболочка из фторированных PMMA (фторполимеров) с $n=1.492$, числовая апертура $NA=0.47$



1. Оптоволокно

○ Типы волокон



стеклянные оптоволокна

(glass optical fiber, GOF)

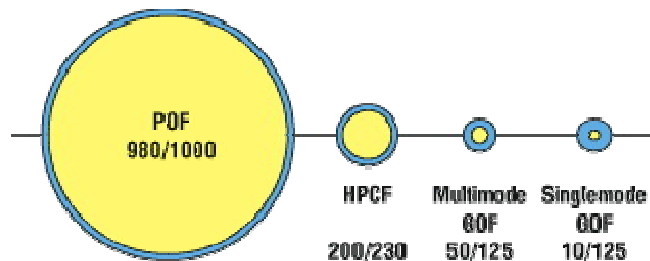
пластиковые оптоволокна

(plastic optical fiber, POF)

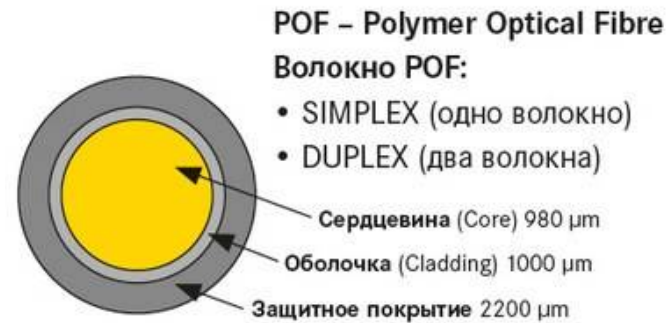
стеклянные с полимерным

покрытием

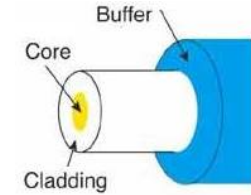
(plastic-clad silica fiber, PCS fiber)



(Polymer Clad Fiber, PCF и Hard Clad Silica, HCS Fiber)



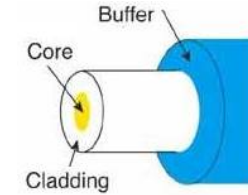
1. Оптоволокно



○ Типы волокон

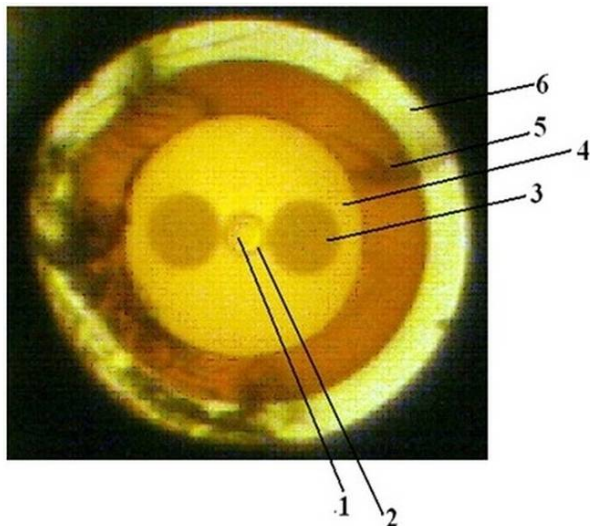
- оптическое волокно для компенсации дисперсии (Dispersion Compensating), применяемые в модулях компенсации дисперсии;
- волокна с примесью редкоземельных элементов, применяемых в оптических усилителях, например, в Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA;
- волокна сохраняющие состояние поляризации излучения (Polarization Maintaining, PM), применяемые в гироскопах, датчиках тока, поляризационных делителях и смесителях;
- дырчатые волокна (Holey Assisted Fiber), применяемые в компенсаторах дисперсии, в оптических шнурах, в нелинейных элементах;
- радиационно-стойкое оптическое волокно для применения в космической технике, в радиоактивной среде (напр. гамма-лучи, рентгеновское излучение, нейтронное и протонное облучение), создается путем использования специальных добавок азота вместо германия и светоотражающей фторсиликатной оболочки;
- высокотемпературные оптические волокна для повышения рабочих температур с +85 °C до 400 °C и выше используются ОВ металлизированным покрытием ;

1. Оптоволокно



○ Типы волокон: анизотропные волокна

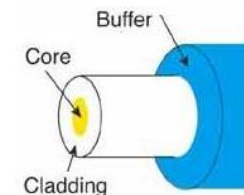
ОВ типа «PANDA» сохраняет поляризацию введенного в него поляризованного излучения за счет большого двулучепреломления, которое создается благодаря анизотропии напряжений, обусловленная структурой волокна, в частности, «напрягающими» элементами из боросиликатного или германосиликатного стекла. Волокно состоит из круглой сердцевины, сформированной чистым кварцевым стеклом или кварцевым стеклом, легированным азотом, (при условии использования волокна в зоне повышенной радиации) или германосиликатным стеклом для работы при нормальных условиях. Сердцевина окружена светоотражающей депрессированной оболочкой из фторсиликатного стекла, осаждаемого внутри опорной трубки.



- 1 – сердцевина,
- 2 — фторсиликатная оболочка,
- 3 – напрягающий элемент,
- 4 – технологическая кварцевая оболочка,
- 5 – первичное полимерное покрытие,
- 6 – вторичное полимерное покрытие.



1. Оптоволокно



○ Выводы

оптическое волокно имеет

различную конструкцию:

одномодовое/многомодовое, различным знаком дисперсии, с сохранением поляризации, радиационно-стойкое, высокотемпературное;

изготавливается из различных оптических материалов:

кварцевое и полимерное

применяется

в телекоммуникационных и локальных системах связи, для создания высокочувствительных измерительных элементов, для создания технических устройств, таких как лазеры, усилители

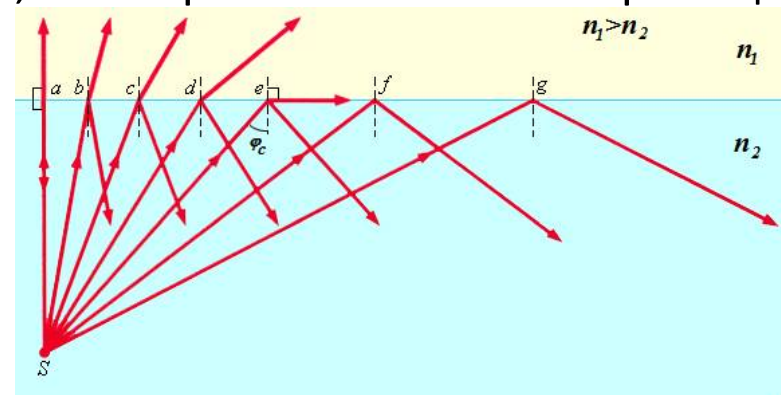
2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Распространение света в оптических волокнах

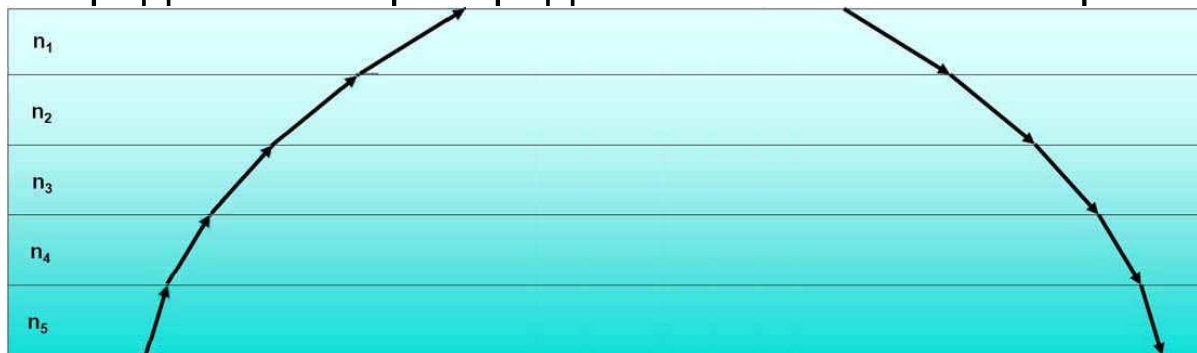
для каналирования света в стандартных волокнах используются два эффекта:
явлении полного внутреннего отражения, т.е. отражении света от границы с оптически более плотной средой:

$$n_1 < n_2 \quad \varphi_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1}; \quad \cos \varphi_c = \sqrt{\frac{(n_1^2 - n_2^2)}{n_1^2}}$$



искривление траектории светового потока (рефракции) в среде с градиентным распределением показателя преломления:



$$n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < n_5$$

$$\sin \varphi = \frac{n_2}{n_1} \sin \varphi'$$

$$n_1 < n_2 \quad \varphi' < \varphi$$

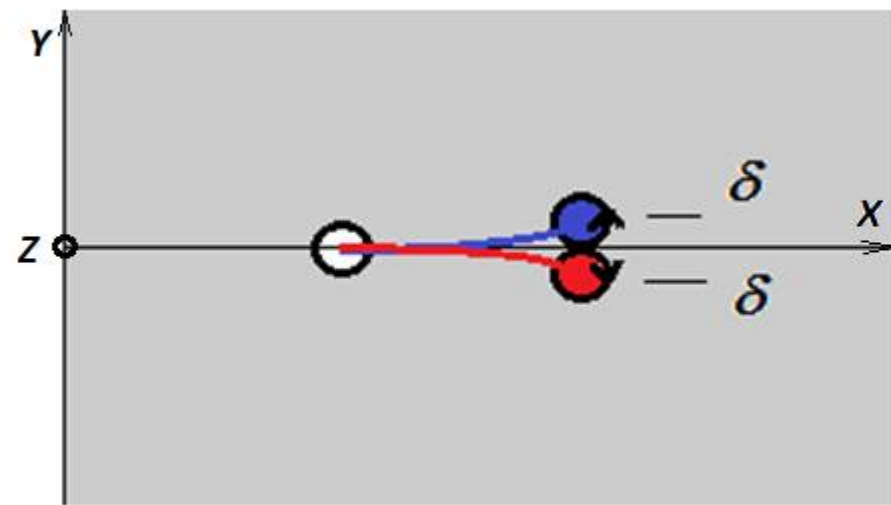
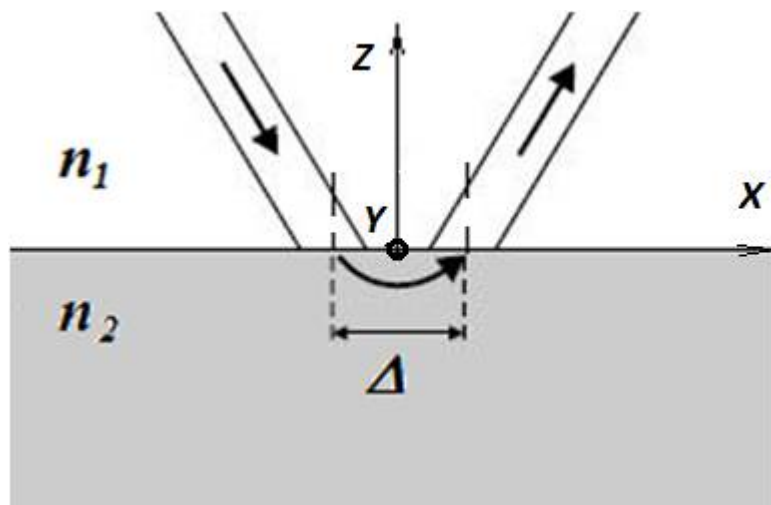
2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Полное внутреннее отражение: особенности

сдвиги Гуса-Хенхен и Фёдорова-Имберта (Goos-Hanchen and Imbert-Fedorov beam shifts) – смещение места выхода луча света при полном внутреннем отражении

вдоль плоскости падения (пространственный сдвиг Гуса-Хенхен)

в перпендикулярном направлении от плоскости падения для эллиптически поляризованного луча (угловой сдвиг Фёдорова-Имберта)

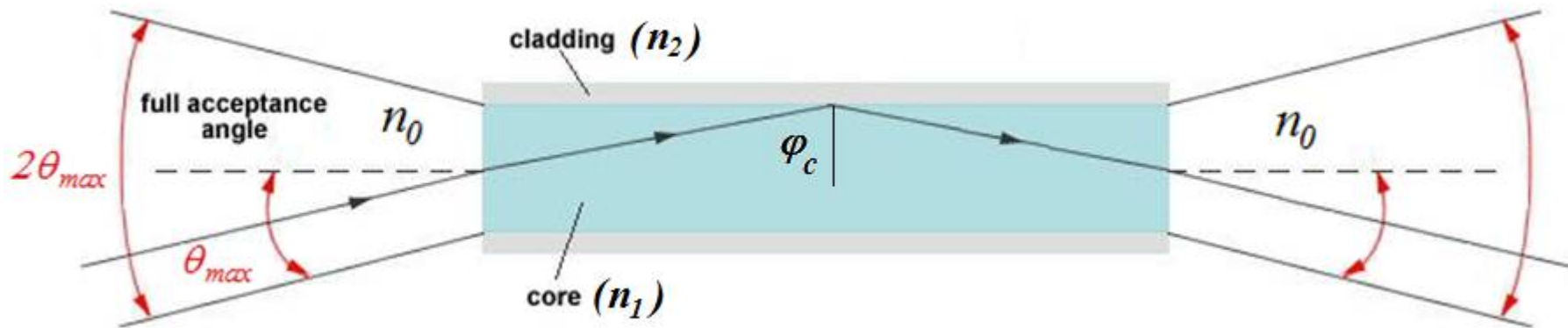


2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Числовая апертура NA

(numerical aperture, NA) безразмерный параметр, описывающий предельное угловое расхождение света относительно центральной оси при входе света в волокно и при выходе света из волокна.

$$NA = n_0 \sin \theta_{\max} = n_1 \cos \varphi_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

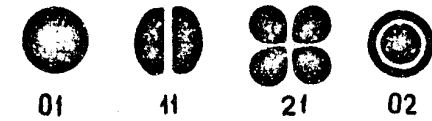


абсолютная и относительная разность показателей преломления в волокне

$$\Delta n = n_1 - n_2 \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

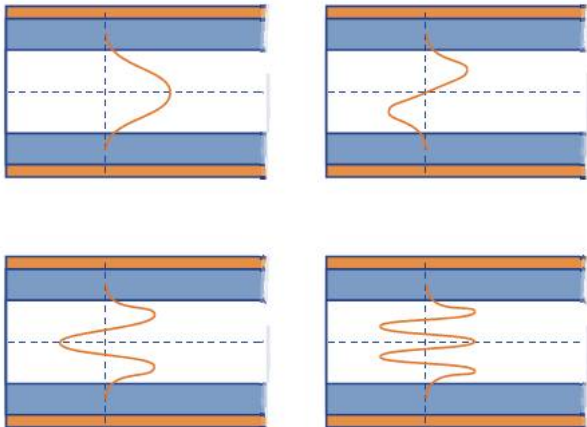
○ Моды оптического волновода



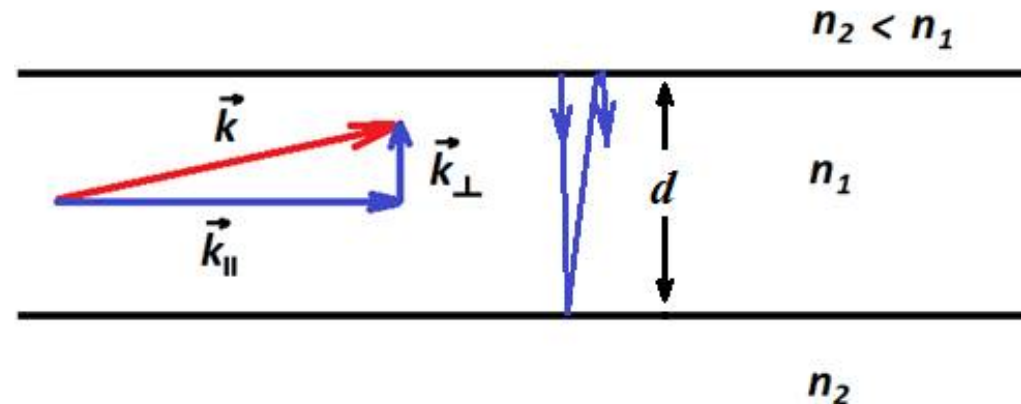
тип волны оптического излучения, распространяющегося по оптическому волноводу, характеризующийся определенным распределением поля в поперечном сечении и определенной фазовой скоростью.

$$\vec{k} = \vec{k}_\perp + \vec{k}_\parallel \quad k_\perp \leq k \cdot \cos \varphi_c$$

$$k = (2\pi/\lambda)$$



Моды плоского волновода, распределение электрического поля



$$\text{max} : k \cdot \cos \varphi_c \cdot n_1 \cdot 2d - 2\Phi = 2\pi m \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

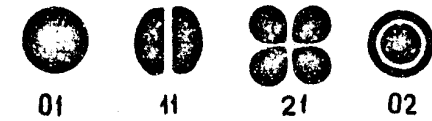
$$\Phi = 0 \quad \lambda_c \approx 2d \cdot NA \quad M = m + 1 \approx (2d/\lambda) NA$$

λ_c – критическая длина волны, M - общее число мод

$k_\parallel (\beta)$ - постоянная распространения

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Длина волны отсечки (cutoff wavelength)



минимальная длина волны λ_c , при которой в оптоволокне будет распространяться одна мода, которое определяется по нормированной частоте V :

$$V = (\pi d / \lambda) NA; \quad \lambda_c = (\pi d / V_{nm}) NA; \quad SMF: \lambda > \lambda_c; \quad MMF: \lambda < \lambda_c;$$

где d – это диаметр сердцевины волокна, λ - длина волны излучения, V_{nm} – критическое значение нормированной частоты для данного профиля показателя преломления;

для оптоволокна со ступенчатым профилем показателя преломления $V_{nm}=2,405$, при $V < 2,405$ – SMF и при $V > 2,405$ - MMF;

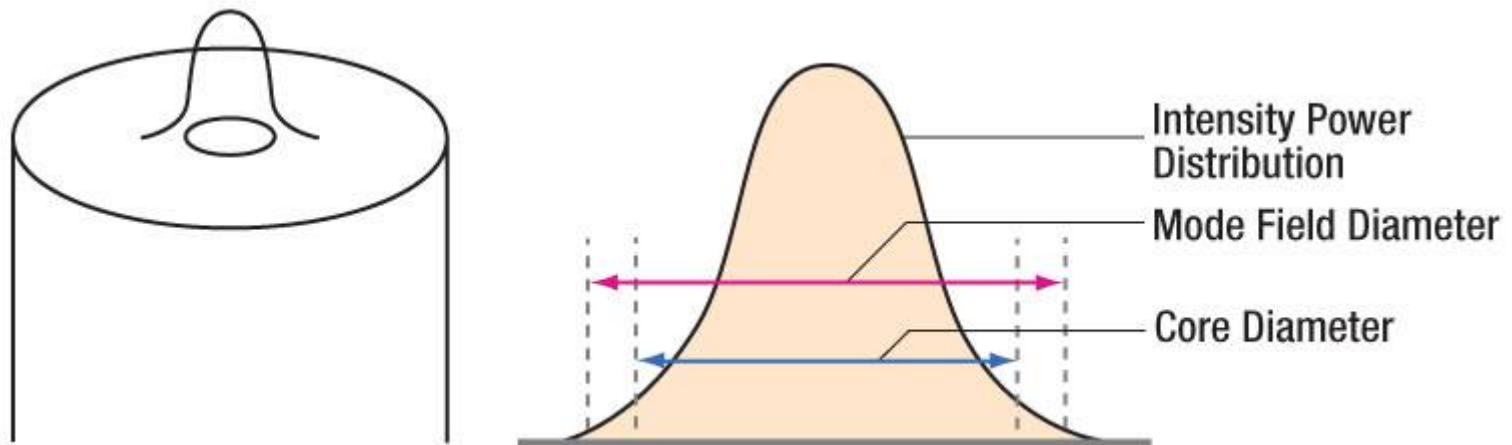
чем меньше диаметр сердцевины ОВ, тем меньшее число мод может распространяться по нему и число направляемых мод M определяется структурными параметрами оптоволокна

$$M \approx V^2 / 2$$

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Диаметр модового поля

(mode field diameter, MFD) характерный поперечный размер области локализации поля основной моды оптического волокна, в котором сосредоточена основная доля оптической мощности



световой поток в волокне при распространении захватывает не только сердцевину, но и проникает внутрь оболочки на глубины порядка длины волны, так что в оболочке распространяется большая доля мощности потока

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Затухание

при прохождении оптического излучения через волокно мощность потока падает, происходит ослабление светового потока в следствие потерь на поглощение, рассеяние, а также потери на конструктивных неоднородностях оптоволокна в виде соединений, изгибов и тд.

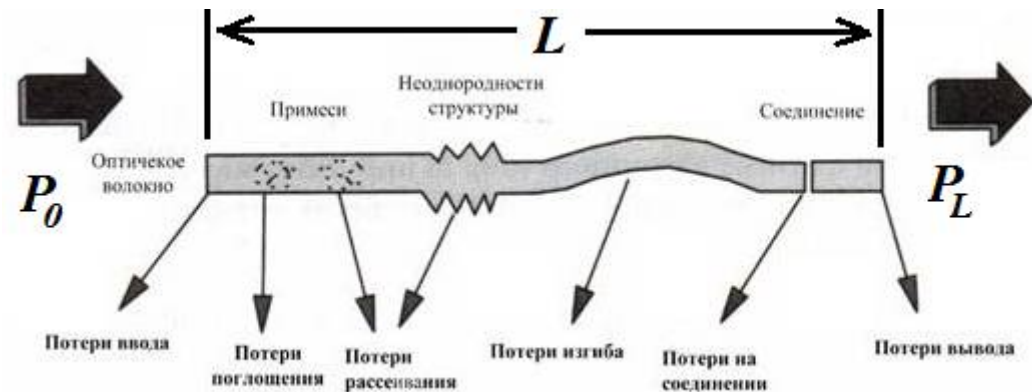
оптическая мощность

на входе – P_0 на выходе – P_L

оптоволокна длиной L

показатель затухания

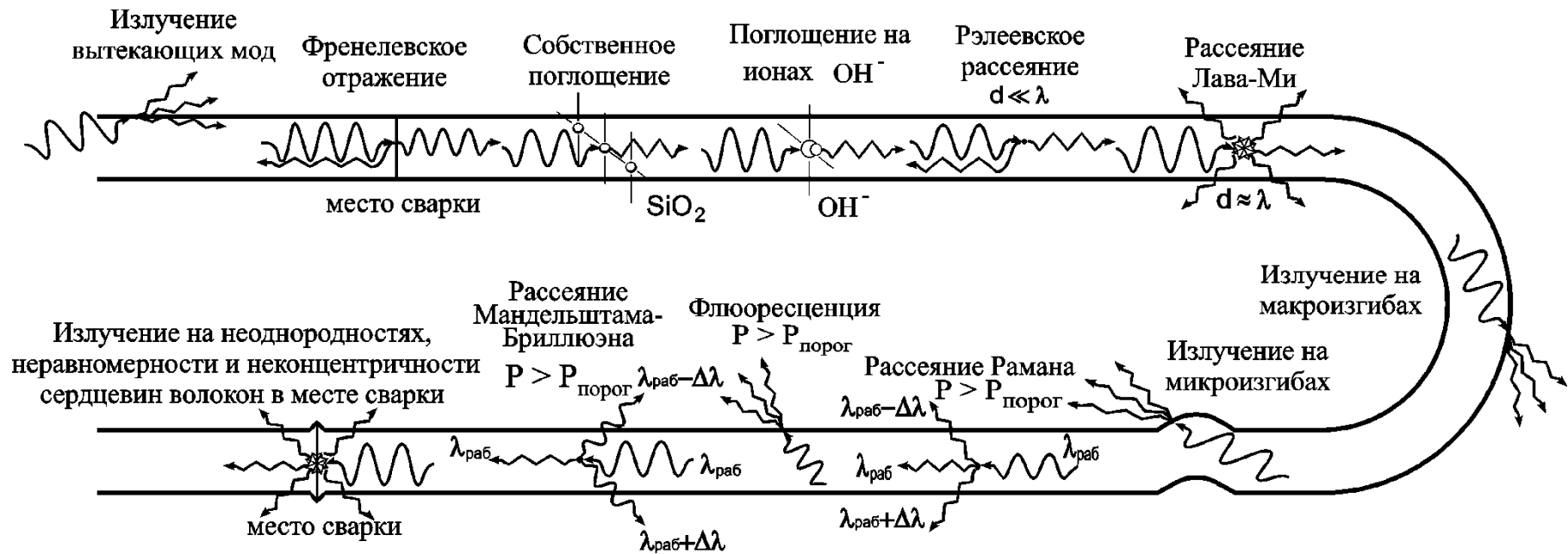
$$\alpha = -\frac{1}{L} \cdot 10 \lg \frac{P_0}{P_L}$$



среда	ослабление, дБ/км	глубина проникновения при ослаблении 30 дБ, м
оконное стекло	50 000	0,65
оптическое стекло	3 000	10
густой туман	500	60
атмосфера над городом	10	3 300
оптическое волокна	0,6	50 000
1550 нм	0,15	200 000

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Затухание



2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Затухание

кварцевого оптоволокна в предельном случае отсутствия конструктивных неоднородностей связано с поглощением и рассеянием света, которое зависит от длины волны света

основные поглощающие центры
Примеси Fe, Cu, Cr, OH^-

основные рассеивающие центры
оптические неоднородности $\ll \lambda$
(рассеяние Рэлея $\sim \lambda^{-4}$)

окна прозрачности кварцевого
оптоволокна

860 нм; 1310 нм; 1550 нм

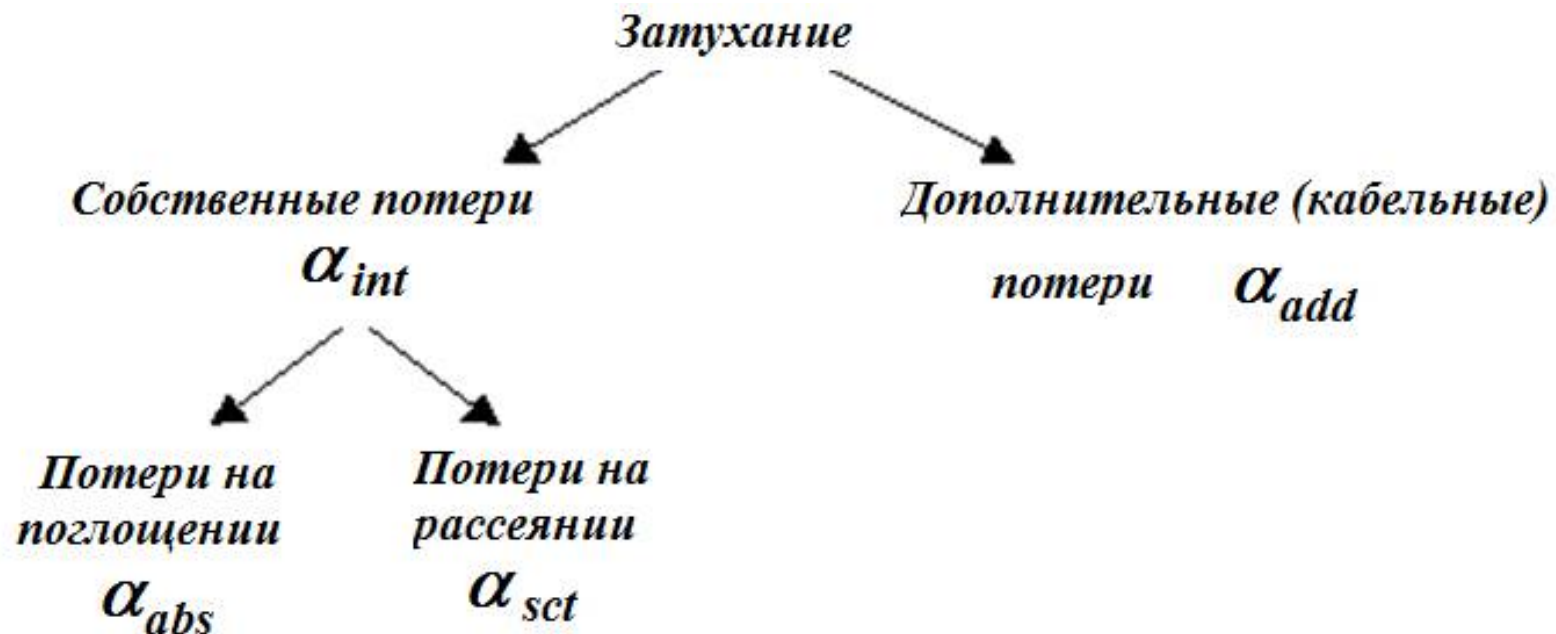


2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Затухание

полное затухание в волокне (измеряется в дБ/км) определяются в виде суммы основных видов потерь

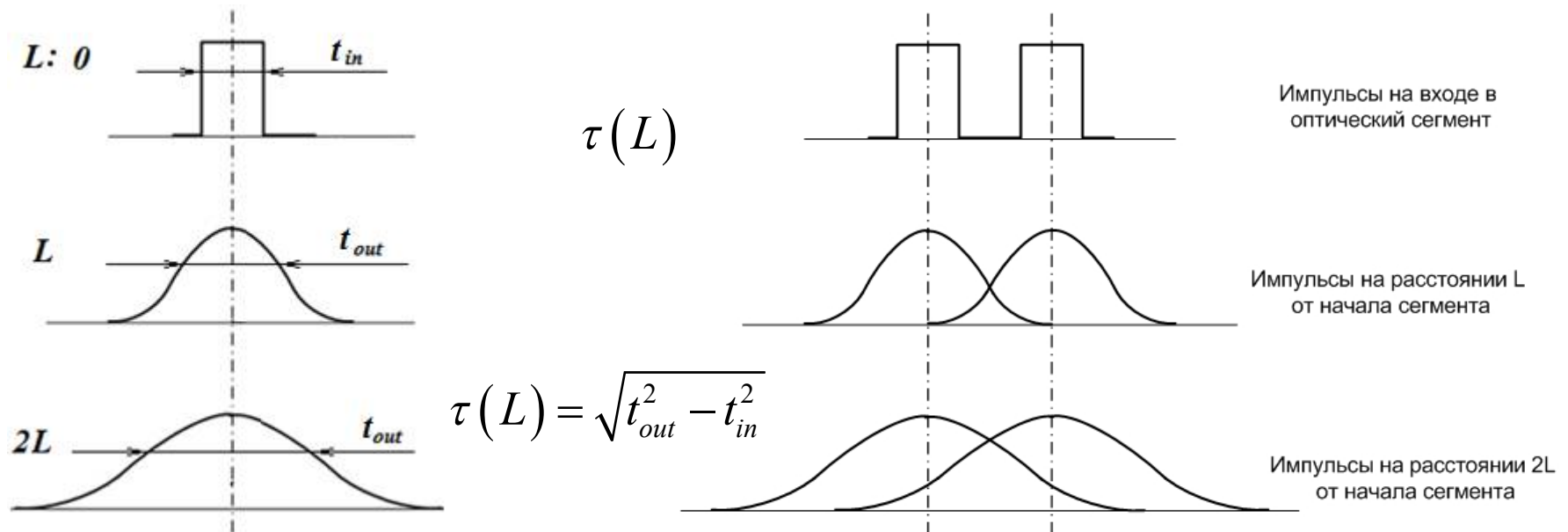
$$\alpha = \alpha_{\text{int}} + \alpha_{\text{add}} = (\alpha_{\text{abs}} + \alpha_{\text{sct}}) + \alpha_{\text{add}}$$



2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Дисперсия

явление разновременного прохождения, волновых составляющих оптических импульсов в оптическом волокне, приводящее к искажению формы импульса, уширению и наложению соседних импульсов;

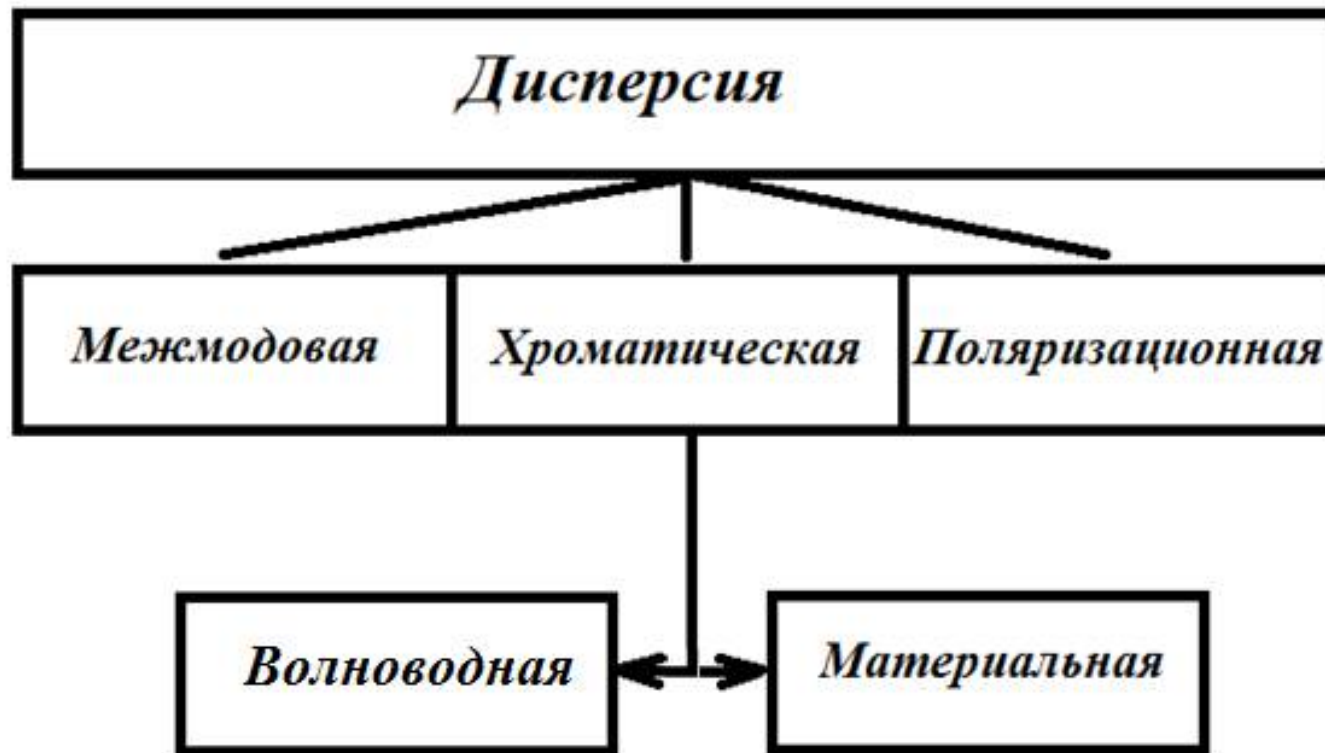


дисперсия ограничивает скорость передачи информации в волоконно-оптических системах связи

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Дисперсия

определяется по уширению оптического импульса (нс, пс) на единицы пройденной длины (нс/км, пс/км) и связывается с физическими процессами распространения света в волокне



2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Дисперсия межмодовая

(modal dispersion) относительная задержка распространения различных мод в многомодовом оптоволокне

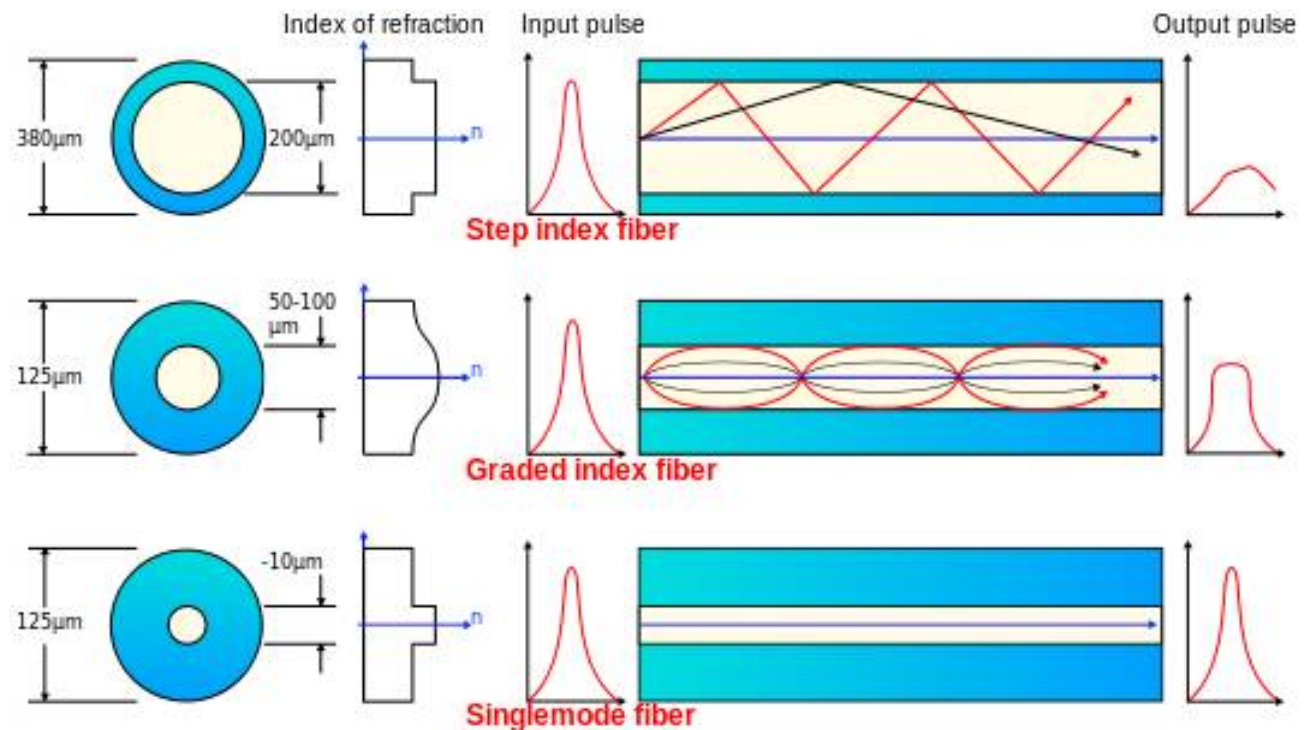
τ - уширение оптического импульса при прохождении расстояния L по волокну

дисперсия в MMF

$$D_M = \tau / L$$

измеряется в

нс/км (ns/km)



2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Дисперсия хроматическая

(chromatic dispersion) определяется различием скоростей распространения в оптоволокне волн на разных длинах волн (частотах), проявляется в виде материальной дисперсии, D_{mat} – определяется спектральной зависимостью показателя преломления от длины волны $n(\lambda)$;

волноводной (внутримодовой), D_{wave} – обусловлена зависимостью групповой скорости распространения моды от длины волны, характер которой определяется формой профиля показателя преломления оптического волокна;

дисперсия в SMF

в пс/нм·км (ps/nm·km)

$\Delta\lambda$ - ширина спектра излучения источника

τ - уширение импульса при прохождении

L – расстояния вдоль волокна

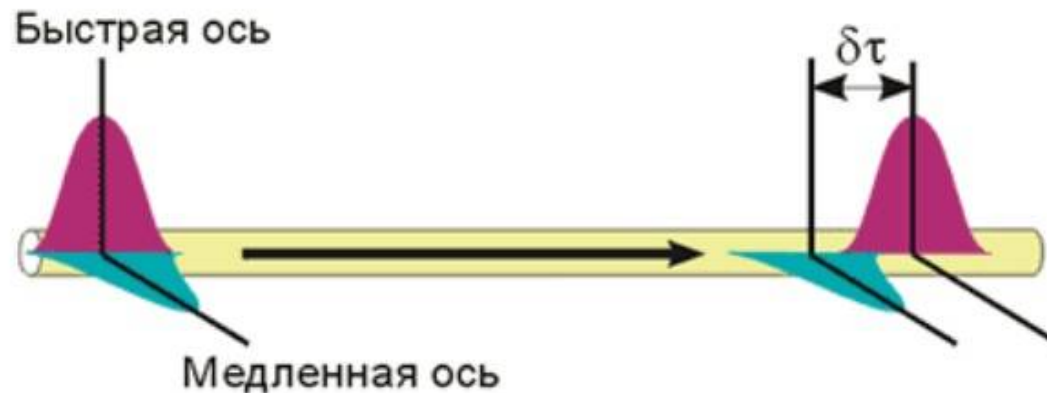
$$D_c = \tau / (\Delta\lambda \cdot L)$$



2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Дисперсия поляризационная

(polarization mode dispersion, PMD) возникает вследствие различной скорости распространения двух взаимно перпендикулярных поляризационных составляющих моды



поляризационной модовой дисперсией называют среднеквадратичное значение дифференциальной групповой задержки:

$$\tau_{PMD} = \sqrt{\langle \delta\tau^2 \rangle}$$

и ее единица измерения — пикосекунда (пс);

в линии с большим числом сегментов ПМД определяется по формуле:

где L - протяженность оптической линии связи (км),

D_{PMD} — коэффициент ПМД оптического волокна (пс/км^{1/2});

$$\tau_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

2. Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов

○ Выводы

основными характеристиками оптического цилиндрического волновода является

конус вводимого в волновод излучения – числовая апертура

число возможных мод – длина волны отсечки, нормированная частота

ослабление светового потока – показатель затухания

расплывание оптического импульса – дисперсия

3. Оптический кабель

○ Назначение

оптические волокна объединяются в оптический кабель, основное назначение которого защита оптических волокон от неблагоприятных условий внешней среды при монтаже и в процессе эксплуатации кабельных систем

оптический кабель выполняет функции:

- механической защиты;
- защиты от рисков воздействия внешней сред;
- упрощения обращение с ним;
- ряд других функций для специальных применений, например, для гальванической развязки с помощью полностью диэлектрического кабеля;

3. Оптический кабель

○ Типы оптического кабеля

линейный – ОК для внешней (наружной) прокладки и эксплуатации, т.е. для кабельных систем расположен вне зданий, по условиям применения кабели делятся на

- подземные;
- подвесные;
- подводные;

число волокон:

от 2 до 288 и более

внутри объектовой – ОК для внутренней прокладки и эксплуатации, т.е. для кабельных систем размещаемых внутри зданий, по условиям применения кабели делятся на

- распределительные;
- станционные (монтажные).

число волокон:

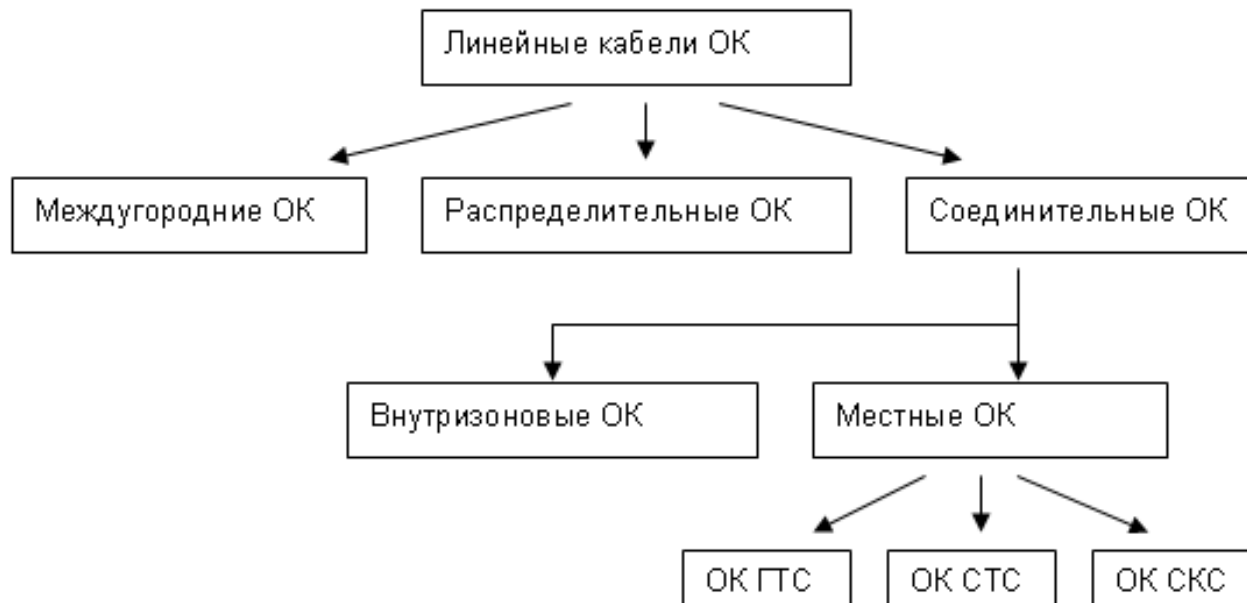
от 1-2 и более



3. Оптический кабель

- **Линейный оптический кабель**

оптические волокна группируются в оптические модули изолированные друг от друга, маркируются различным цветом, все модули собираются в единую конструкцию и защищаются различными защитными элементами от механических воздействий, воздействия воды и других угроз



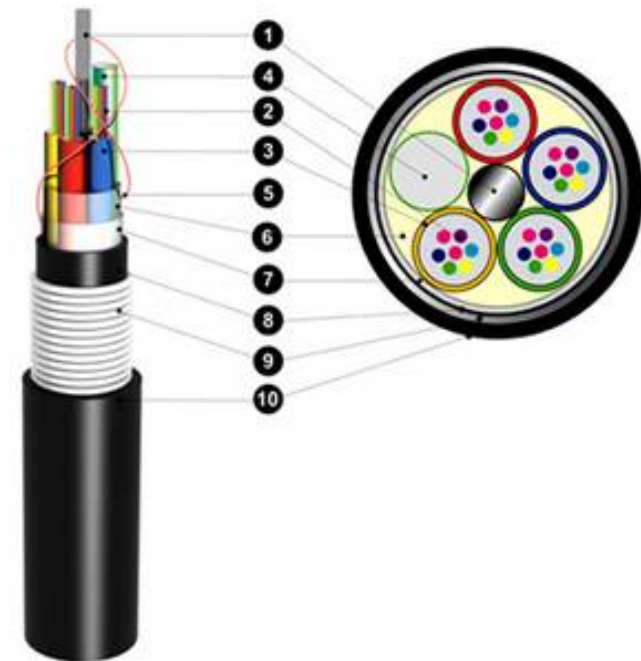
ГТС – городские телефонные сети, СТС – сети телевизионных станций, СКС – структурированные кабельные системы

3. Оптический кабель

○ **Линейный оптический кабель**

Типичная конструкция

1. Оптические волокна свободно уложены в полимерных трубках (оптические модули), заполненных тиксотропным гелем по всей длине.
2. Центральный силовой элемент (ЦСЭ), диэлектрический стеклопластик или стальной трос в ПЭ оболочке, вокруг которого скручены оптические модули.
3. Кордель — сплошные ПЭ стержни для устойчивости конструкции.
4. Поясная изоляция в виде лавсановой ленты, наложенная поверх скрутки.
5. Гидрофобный гель, заполняющий пустоты скрутки по всей длине.
6. Внутренняя оболочка выполнена из композиции ПЭ низкой или высокой плотности.
7. Броня в виде повива стальных оцинкованных проволок или диэлектрических высокопрочных стержней.
8. Наружная оболочка выполнена из композиции ПЭ низкой или высокой плотности.



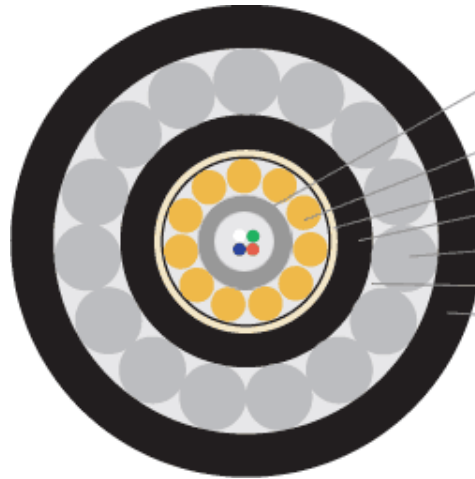
3. Оптический кабель

○ **Линейный оптический кабель (конструкция)**

подвесной

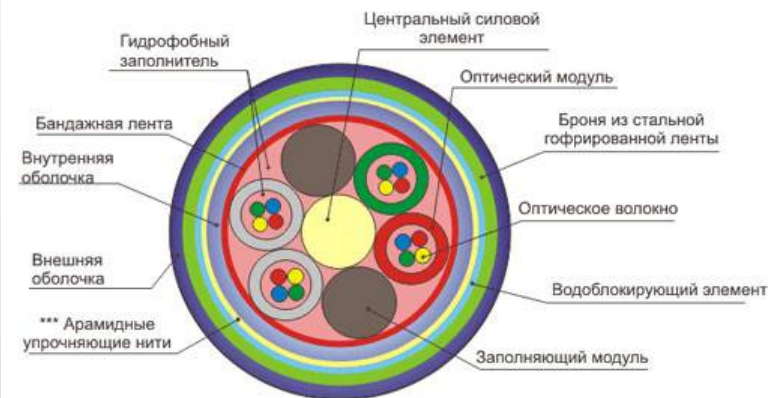
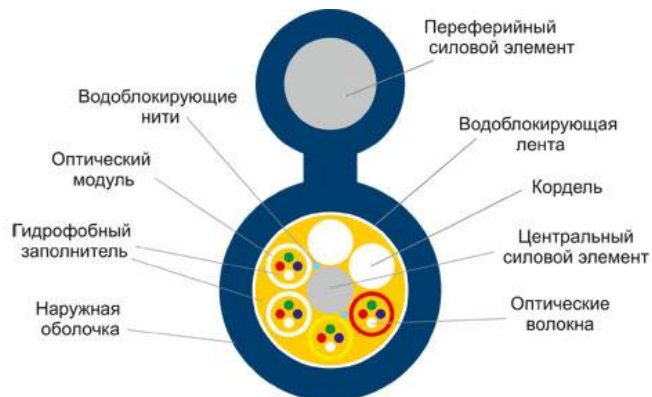


подводный



- Центральная металлическая трубка со свободно уложенным оптическим волокном или пучками волокон, заполненная гидрофобным гелем
- Медная проволока (токопроводящая жила дистанционного электропитания)
- Водоблокирующая лента
- Промежуточная оболочка из полиэтилена высокой плотности
- Круглая стальная оцинкованная проволока
- Гидрофобный гель
- Наружная оболочка из полиэтилена высокой плотности

подземный



3. Оптический кабель

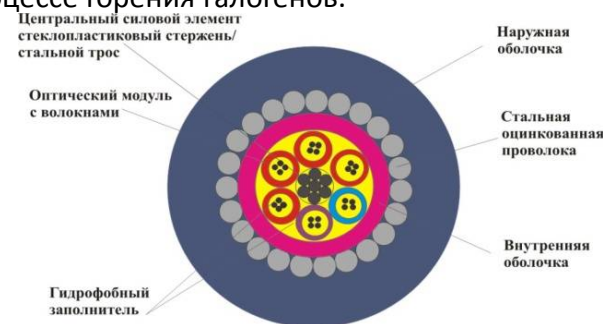
○ **Линейный оптический кабель ОГД, ОГМ (www.euro-cable.ru)**

Область применения: Кабель ОГД используют для прокладки в грунтах всех категорий, кроме мерзлотных. Благодаря применению влагоизоляции, кабеля данного типа, они могут быть использованы при прокладке в кабельной канализации, коллекторах, трубах, и блоках, а также по дну рек и болот. Данный тип кабелей рекомендуется для прокладки в местах подверженных механическому воздействию, зараженных грызунами, в местах, где кабель находится под растягивающим, раздавливающим или срезающим усилием, а также при необходимости защиты от вандализма.

Конструкция: Кабель марки ОГД содержит центральный силовой элемент (ЦСЭ) выполненный из материала стеклопластик (Д) либо стальной трос, изолированный полиэтиленом (М). ЦСЭ обвивают оптические модули содержащие волокна и кордели. ЦСЭ защищают водоблокирующие нити. Свободное пространство в оптическом модуле заполнено гидрофобным наполнителем. Оптические модули покрывает водоблокирующая лента. Поверх сердечника наложена оболочка из полиэтилена, на которую наложен бронепокров из стальных оцинкованных проволок. Кабель с маркировкой ОГДН содержит наружную оболочку из полиэтилена, не распространяющего горение или из материала не выделяющего в процессе горения галогенов.

Технические характеристики

- Эксплуатация в диапазоне температур от минус 40 °С до 50 °С.
- Допустимое растягивающее усилие ОГД и ОГМ от 7 до 80 кН.
- Допустимое растягивающее усилие ОГДН и ОГМН от 7 до 20 кН.
- Допустимое раздавливающее усилие не менее 0,7 кН/см.
- Количество оптических волокон в кабеле - от 2 до 288.
- Стойкость к раздавливанию не менее 0,7 кН/см
- Стойкость к однократному удару с начальной энергией 20 Дж
- Изоляция цепей “металлический ЦСЭ - бронепокров”, “стальные проволоки - земля (вода)” и “бронепокров - земля (вода)” должна выдерживать напряжение до 20 кВ постоянного тока или 10кВ переменного тока частотой 50 Гц в течение 5с.



Количество волокон	Диаметр кабеля, мм				Масса 1 км кабеля, кг			
	Кабели с бронепокровом из проволоки диаметром 1,2 мм							
	ОГД	ОГДН	ОГМ	ОГМН	ОГД	ОГДН	ОГМ	ОГМН
от 2 до 24	12,9	13,5	13	13,6	290	302	295	307
от 26 до 40	14,1	14,7	14,2	14,8	338	351	343	356
от 40 до 48	15,4	16	15,5	16,1	447	462	452	466
от 50 до 64	16,8	17,4	16,9	17,5	521	537	539	556

3. Оптический кабель

○ Внутриобъектовый оптический кабель: классификация



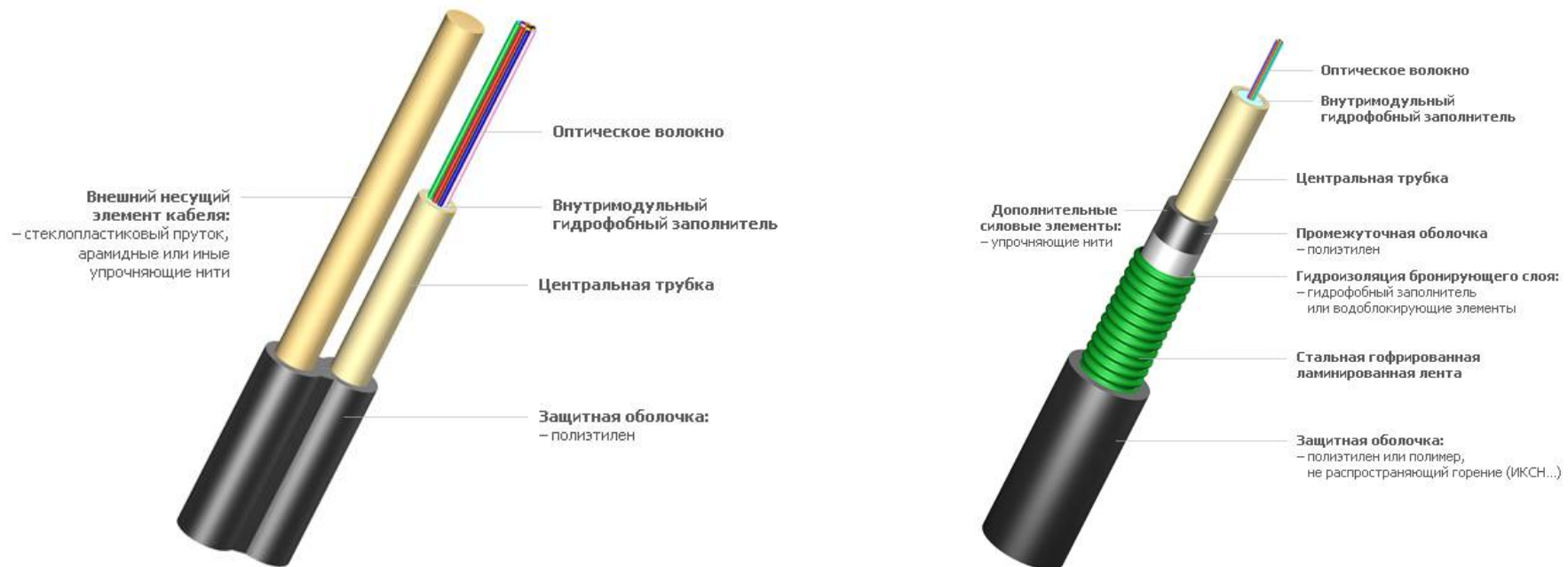
Характерными особенностями конструктивных решений и отличительным свойствам внутриобъектовым ОК являются:

- применение материалов (в основном в полимерных оболочках), обеспечивающих нераспространение горения, низкий уровень выделения дыма и не содержащих галогенов;
- применение диэлектрических упрочняющих элементов и без гидрофобного заполнения;
- применение оптического волокна в плотном буферном покрытии диаметром 900 мкм;
- меньшие массогабаритные размеры (массу и наружный диаметр), малые допустимые радиусы изгиба (стойкость к изгибу);
- устойчивость к климатическим и механическим воздействиям;
- неподверженность электромагнитным воздействиям;
- технологичность в армировании, прокладке и монтаже, выполнении поэтажных отводов с сохранением целостности транзитных оптических волокон;
- обеспечение вертикальной и горизонтальной прокладок.

3. Оптический кабель

○ **Внутриобъектовый оптический кабеля: конструкция**

распределительный

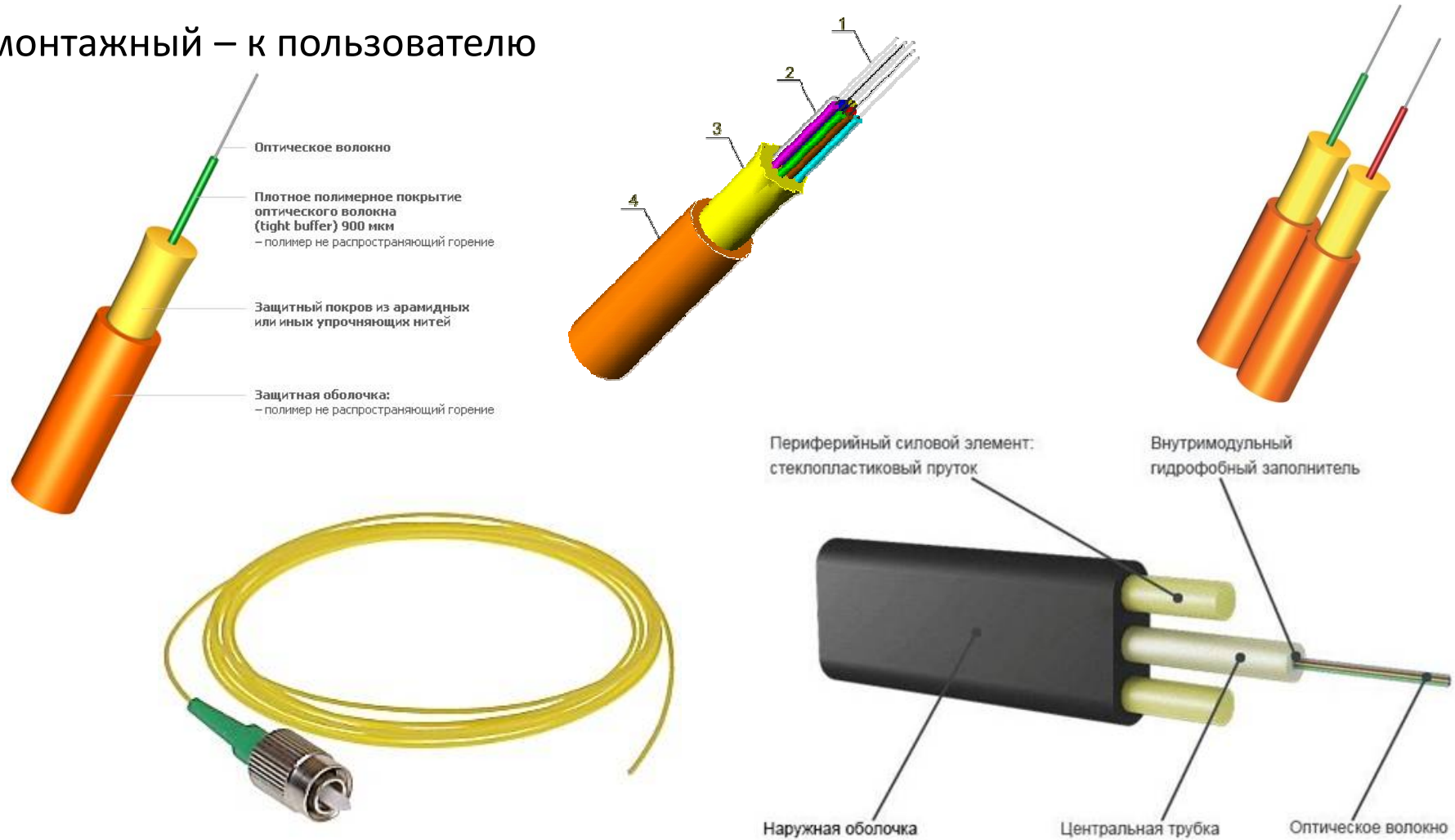


используется для проводки к распределительному щитку внутри объекта – на входе в здание (из магистральной линии), на этаж (горизонтальная разводка), внутри помещения и т.д.

3. Оптический кабель

○ Внутриобъектовый оптического кабеля: конструкция

МОНТАЖНЫЙ – К ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ



3. Оптический кабель

○ Выводы

оптический кабель делится на

- линейный для телекоммуникаций, локальных линий связи объединяющих удаленные объекты;
- внутри объектовой для осуществления абонентского доступа по технологии FTTH (Fiber to the X), в виде структурированных кабельных систем (СКС) зданий;

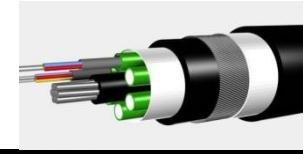
линейный кабель по технике монтажа делиться на

- подземный
- подвесной
- подводный

внутри объектовой кабель как правило изготавливается из диэлектрических материалов

4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Назначение



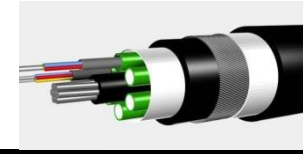
основное применение волоконно-оптических технологий – это транспорт информации, который делится на дальнюю связь (телекоммуникации), ближнюю связь (локальные сети) и специальные системы передачи информации в измерительных системах и др.

Коммуникации	Протяженность	Расположение	Особенности
Глобальная сеть	свыше 10000 км 1000 ÷ 10000 км	Континенты Страны	высокие скорости, большие объемы передачи информации, кабель внешней прокладки
Зональные сети Местная сеть	100 ÷ 1000 км 10 ÷ 100 км	Регион Поселение	средние скорости, средние объемы передачи информации, кабель внешней прокладки
Сети доступа Локальные сети	1 ÷ 10 км 0,1 ÷ 1 км 0,01 ÷ 0,1 км	Предприятие Здание Офис	небольшие скорости, небольшие объемы передачи информации, кабель внешней/внутренней прокладки

основная реализация кабельных систем связи строится на волоконно-оптических системах передачи информации с транспортной средой в виде оптических кабельных сетей и систем

4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Характеристики линии связи



пропускная способность канала C (channel capacity) - количество информации, передаваемое в единицу времени, которое оценивается предельным числом бит данных, передаваемых по каналу за единицу времени, и измеряется в бит/с (bit per second, bps);

интенсивности битовых ошибок BER (Bit Error Rate) - определяется как вероятность искажения передаваемого бита данных, по которой оценивается достоверность передачи данных;

полоса пропускания канала B (bandwidth communication line) - непрерывный диапазон частот, в котором отношение амплитуды выходного сигнала к входному превышает заранее заданный предел (обычно 0,5 или 3 dB);

формула Шеннона для линии связи с шумами

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

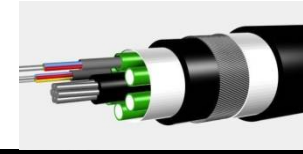
формула Найквиста для линии связи без шумов

$$C = 2B \cdot \log_2(M)$$

SNR – отношение средней мощности сигнала к мощности шума, M – эффективное число различимых уровней сигнала;

4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Обобщенная структура

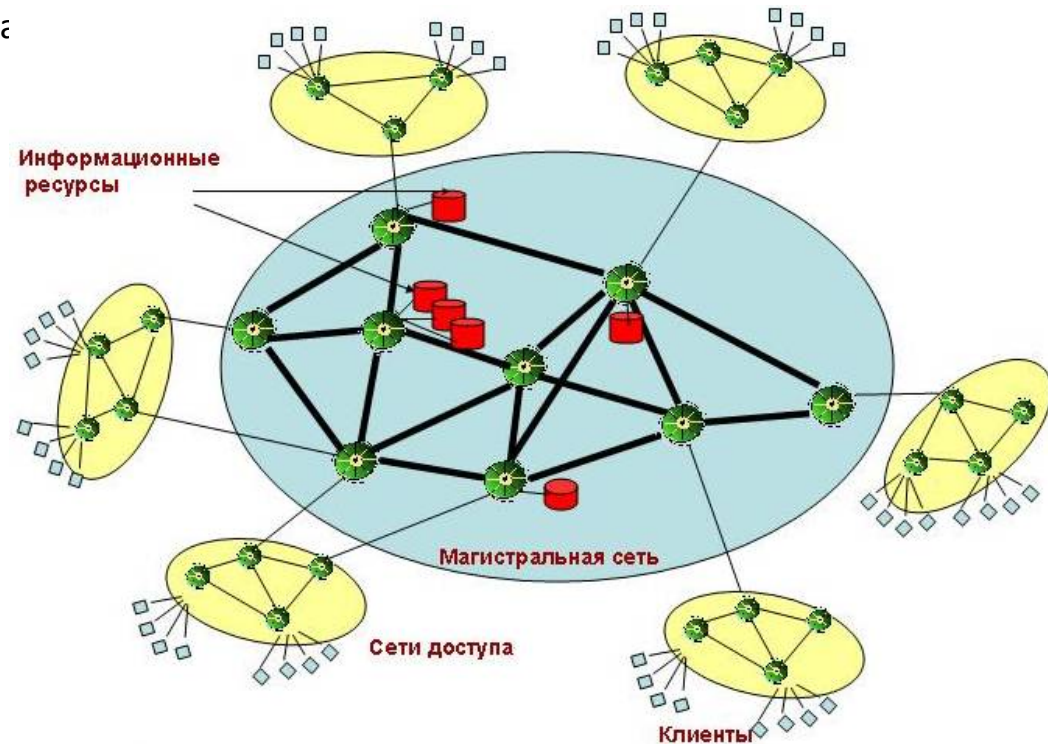


телекоммуникационная сеть - это совокупность физических линий связи, аппаратных и программных средств, обеспечивающих информационное взаимодействие абонентских систем, которая содержит компоненты

• **сеть доступа (access network)** - предназначена для концентрации информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования пользователей, в сравнительно небольшом количестве узлов магистральной сети;

• **магистраль (backbone или core network)** – объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транзит трафика между ними по высокоскоростным каналам;

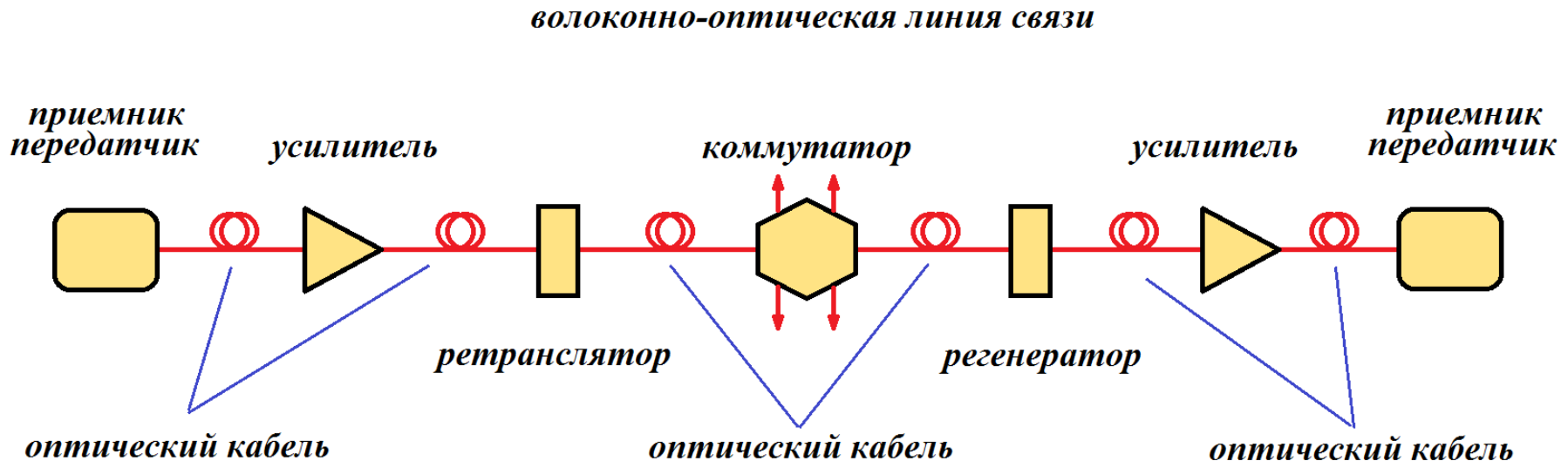
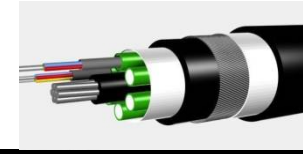
• **информационные центры** или центры управления сервисами (**data centers или services control point**) – это собственные информационные ресурсы сети, на основе которых осуществляется обслуживание пользователей.



Структура телекоммуникационной сети

4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Обобщенная структура



активная аппаратура волоконно-оптического тракта

ретранслятор – активное устройство повторения сигнала

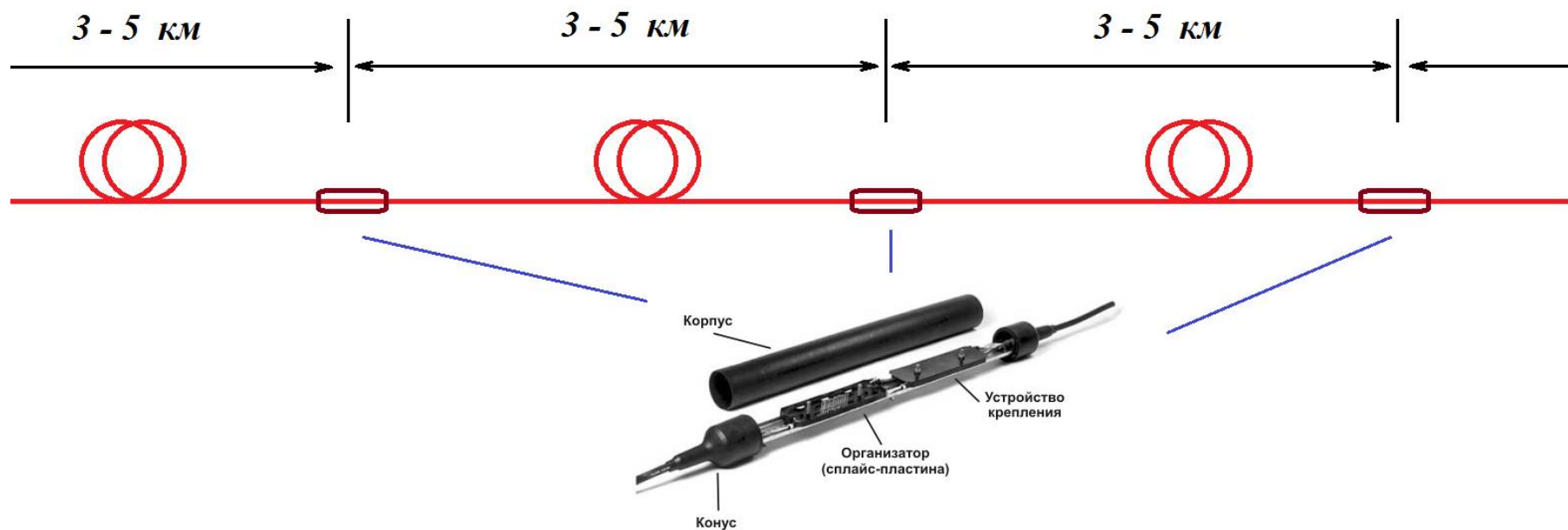
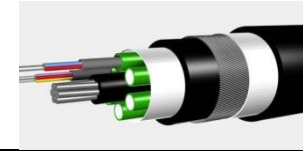
регенератор – активное устройство восстановления формы сигнала

усилитель – активное устройство предназначенное для усиления сигнала

коммутатор, маршрутизатор – устройства сети пере направляющие и объединяющие сети различного типа

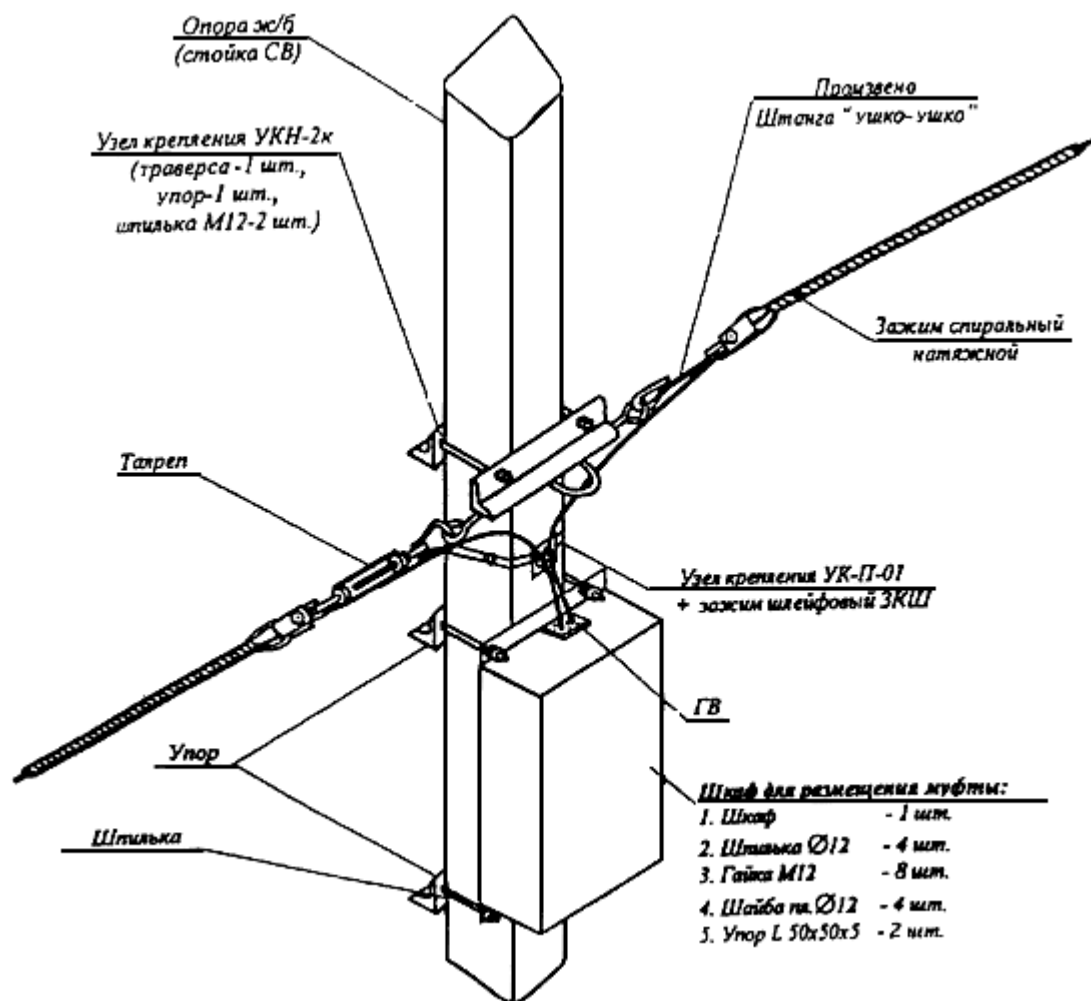
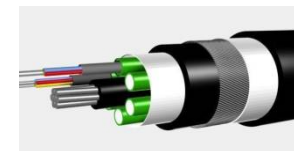
4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Подземные телекоммуникации



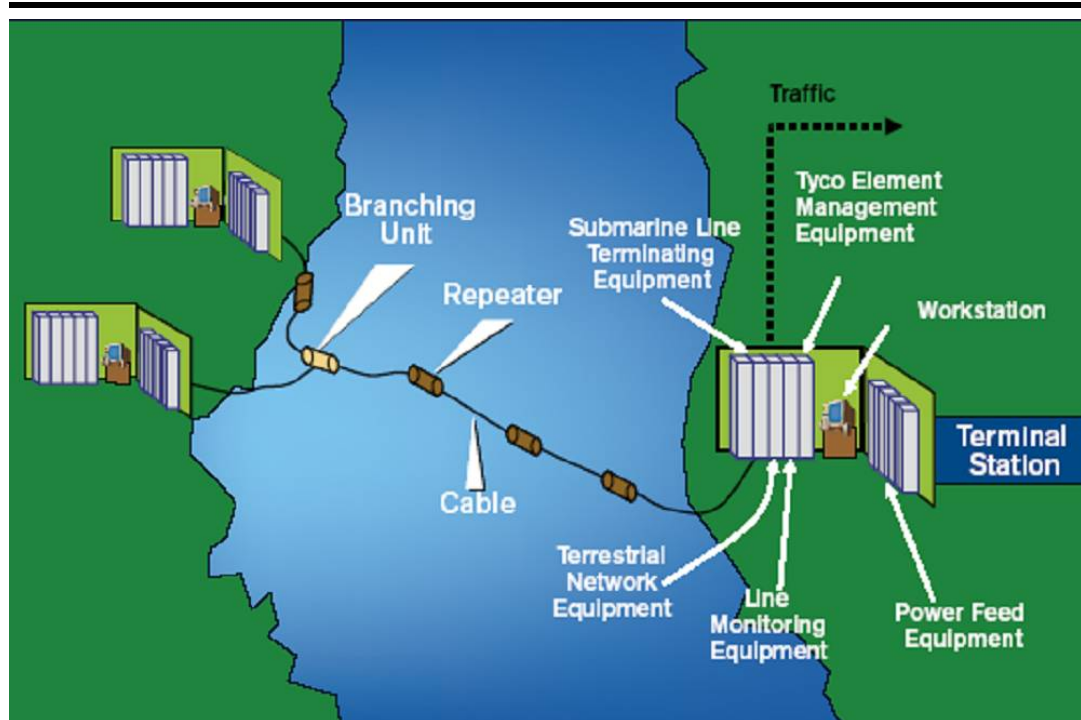
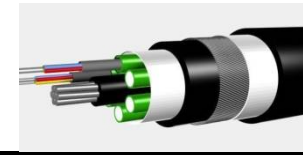
4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Подвесные телекоммуникации



4. Волоконно-оптические телекоммуникации

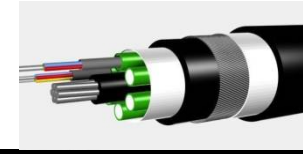
○ Подводные телекоммуникации



магистральная трансокеанская
волоконно-оптическая линия связи

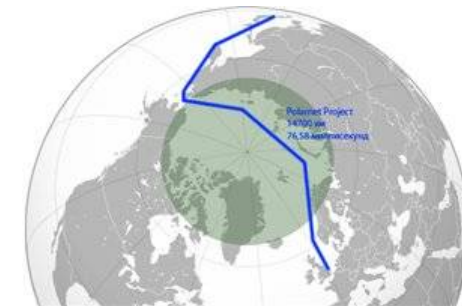
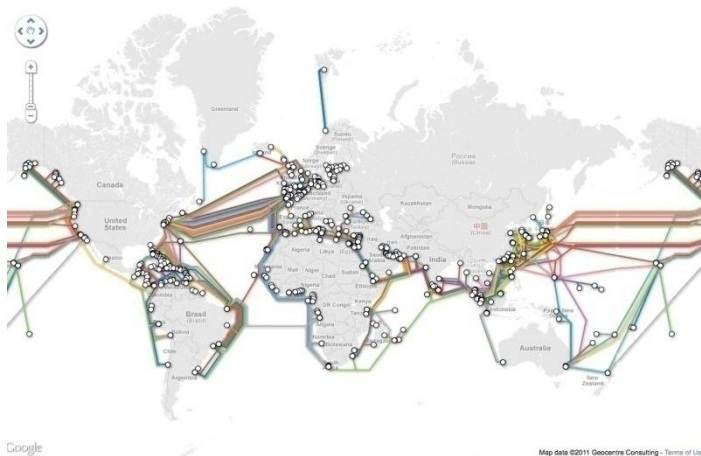
4. Волоконно-оптические телекоммуникации

○ Выводы



телекоммуникации наиболее успешное применение ВО технологий

- первая трансатлантическая телефонный оптический кабель TAT-8 (8 – поколения) на 40000 одновременных соединений между США и Великобританией и Францией, эксплуатировалась с 1988 по 2002 гг
- в настоящее время длина подводного оптического кабеля превышает 1 млрд. км;
- достигнута пропускная способность 100 Гб/с на канал (на одной длине волны) при мультиплексировании 155 каналов в одном волокне (общая пропускная способность 15,5 Тб/с) на расстояние 7000 км;



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Понятие и типы доступа

сеть абонентского доступа - оборудование и сооружения линии связи, которые обеспечивают соединение оконечного оборудования с коммутационным оборудованием центрального офиса;

назначение сети абонентского доступа предоставление информационных услуг пользователю:

видео, аудио и данных -
на высоких скоростях
(широкополосный доступ)
с высокой надежностью

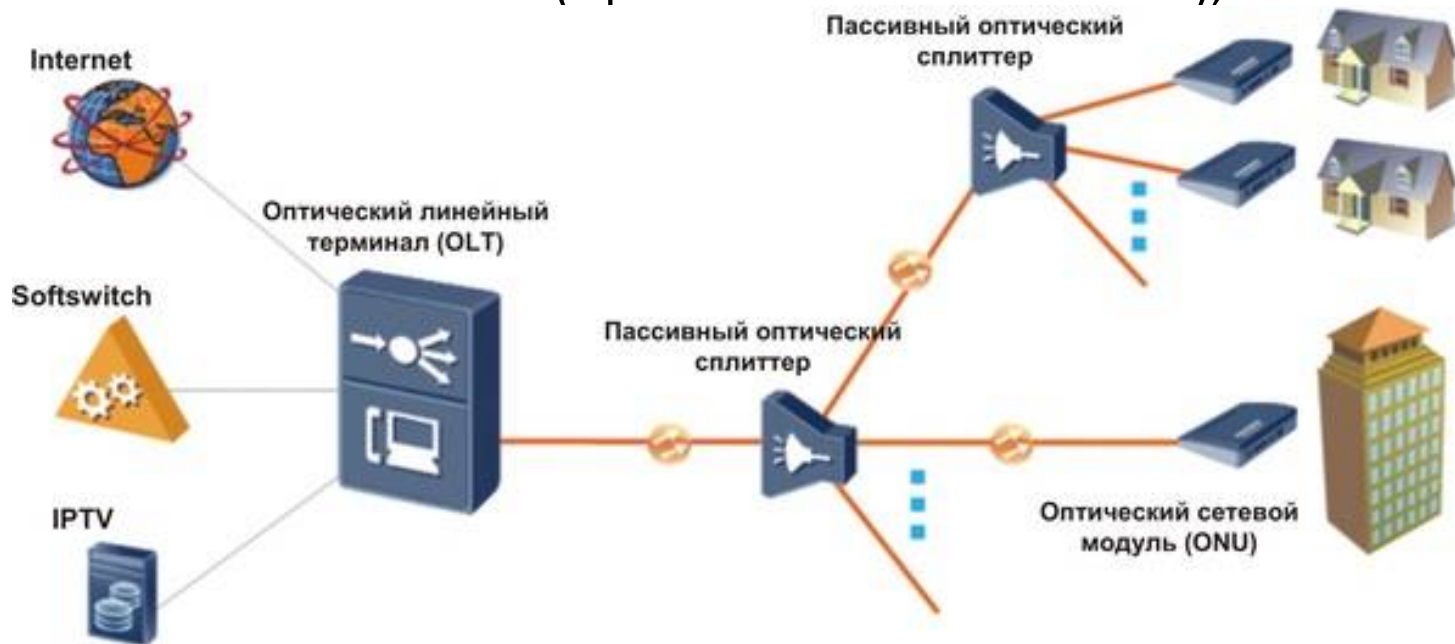


дальнейшее развитие конвергенция всех сетей с реализацией по одной технологии, требующей широкополосного доступа по оптическим сетям

5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Пассивные оптические сети

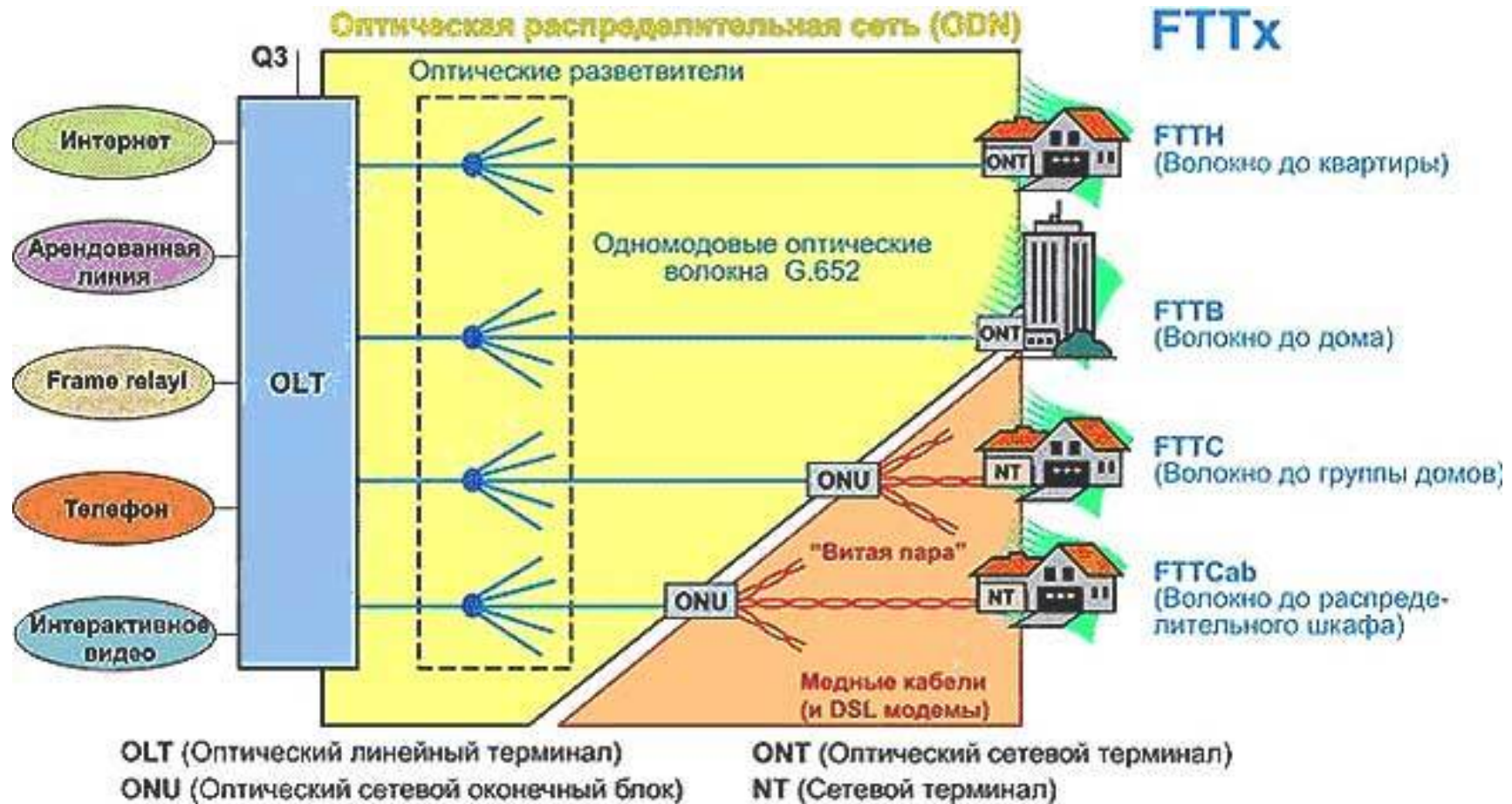
пассивные оптические сети (Passive optical network, PON) - распределительная сеть широкополосного доступа основанная на волоконно-кабельной архитектуре с пассивными оптическими разветвителями в узлах, без использования активного электронного оборудования на всех участках сети между узлом связи с оборудованием OLT (Optical Line Termination) и абонентской областью – ONT (Optical Network Termination);



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

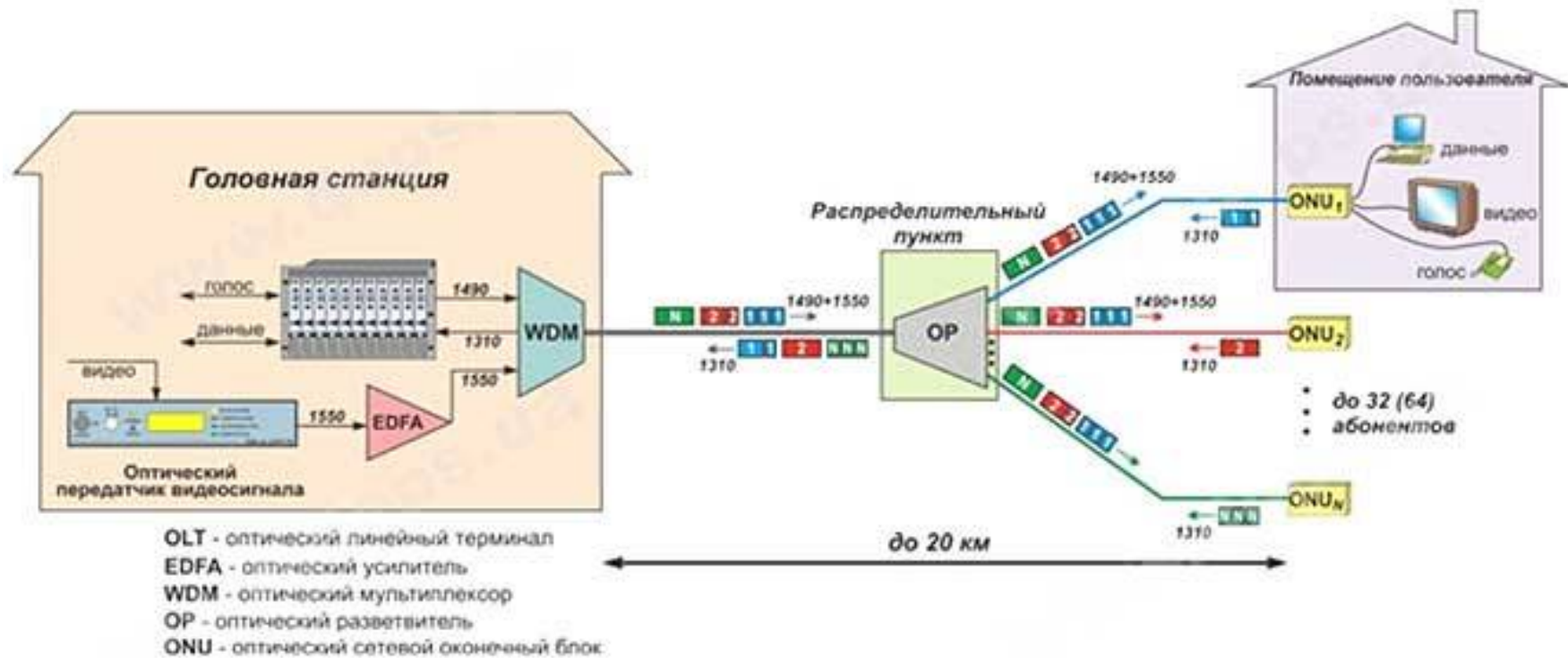
○ Пассивные оптические сети

технология FTTH (Fiber to the X) волокно к объекту X (дом, офис, кабинет и т.д.)



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Пассивные оптические сети



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Пассивные оптические сети

Название	Стандарт (Рекомендация)
APON (ATM PON)	Рекомендации ITU-T G.983.x
BPON (Broadband PON)	Рекомендации ITU-T G.983.x
EPON (Ethernet PON)	Стандарты IEEE 802.3ah/ IEEE 802.3av
GPON (Gigabit PON)	Рекомендации ITU-T G.984.x

сравнительная таблица по характеристикам трех видов PON

Характеристики	BPON	EPON (GEPON)	GPON
Скорость передачи, прямой/обратный поток, Мбит/с	622/155, 622/622	1000/1000	1244/1244, 2488/1244, 2488/2488
Базовый протокол	ATM	Ethernet	SDH (GFP)
Линейный код	NRZ	8B10B	NRZ
Максимальное число абонентов	32	32 (64)	32 (64)
Максимальный радиус сети, км	20	10 (20)	20
Длина волны, прямой/обратный поток (видео), нм	1490/1310, (1550)	1490/1310, (1550)	1490/1310, (1550)
Динамический диапазон, дБ:			
	– класс А	5-20	5-20
	– класс В	10-25	10-25
	– класс С	15-30	15-30
Интерфейс РХ-10 (10 км)		5-20	
Интерфейс РХ-20 (20 км)		10-24	

5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические подсистемы СКС

структурированные кабельные системы (СКС) с волоконно-оптическими подсистемами — физическая основа инфраструктуры здания, позволяющая свести в единую систему множество сетевых информационных сервисов разного назначения: локальные вычислительные и телефонные сети, системы безопасности, видеонаблюдения и т. д. ;

принцип построения СКС отвечает трём основным требованиям:

- является универсальной, то есть даёт возможность использовать её для передачи сигналов основных существующих и перспективных видов сетевой аппаратуры различного назначения;
- позволяет быстро и с минимальными затратами организовывать новые рабочие места и менять схему подключения и СКС без прокладки дополнительных кабельных линий;
- позволяет организовывать единую службу эксплуатации.

5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ **Волоконно-оптические подсистемы СКС**

позволяют:

- при относительно высоких начальных вложениях на строительство сети обеспечить существенную экономию полных затрат за счёт длительного срока эксплуатации структурированной кабельной системы и низких эксплуатационных расходов;
- повысить надёжность структурированной кабельной системы;
- использовать одновременно различные сетевые протоколы и сетевые архитектуры в одной локальной сети;
- комбинировать в единую систему оптические и электрические тракты передачи сигналов;
- устранить путаницу проводов в кабельных трассах локальных сетей;
- обеспечить за счёт принципа построения сети из отдельных модулей быструю локализацию неисправностей, восстановление структурированной кабельной сети или переход на резервные линии.

5. Волоконно-оптический абонентский доступ

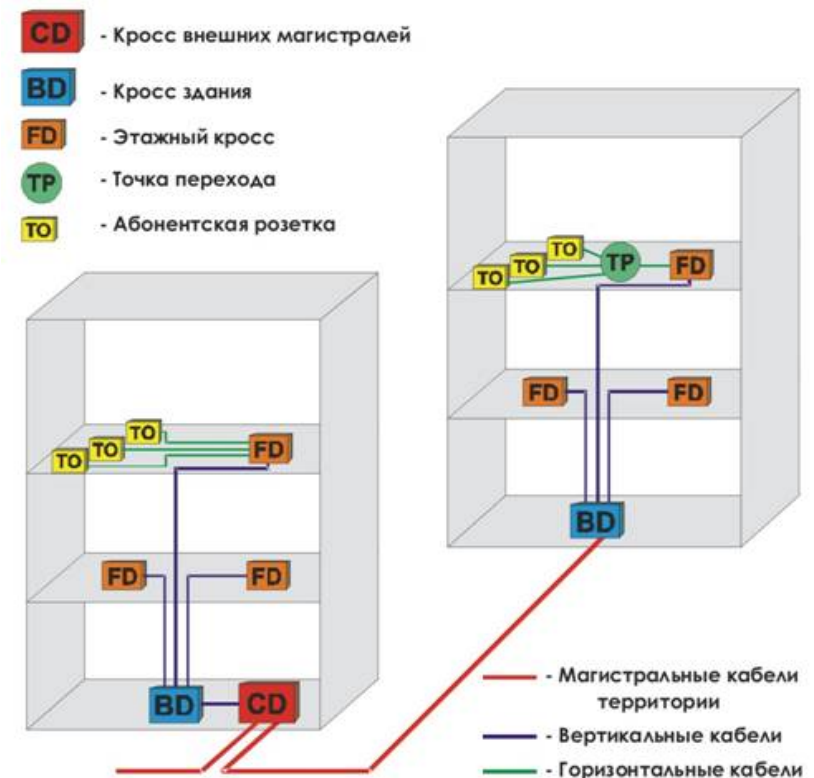
○ Волоконно-оптические подсистемы СКС

волоконно-оптическая инфраструктура здания включает главным образом кабельные системы информационных систем

горизонтальные кабельные каналы
разводка по этажу с абонентским доступом

вертикальные кабельные каналы
разводка между этажами

магистральные кабельные каналы
разводка между зданиями



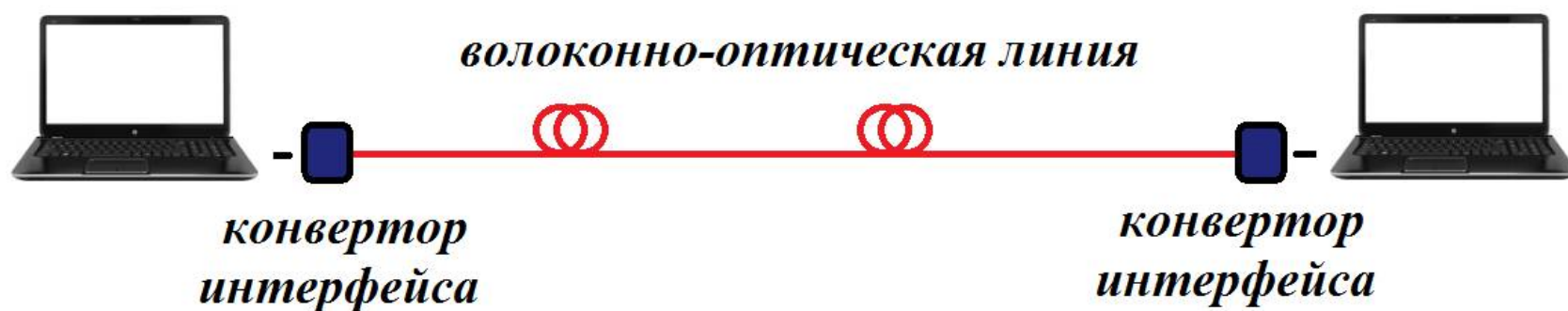
5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов

интерфейс – совокупность способов и технических средств для организации связей между элементами системы;

волоконно-оптический интерфейс (*Fiber Optic Interface, FOI*) позволяет преобразовывать интерфейс устройства в интерфейс волоконно-оптической линии и передавать далее информацию по волоконно-оптическим линиям связи до другого устройства;

применяется с целью увеличения длины линии связи от 100 м и увеличения скорости передачи данных от 100 Мб/с;

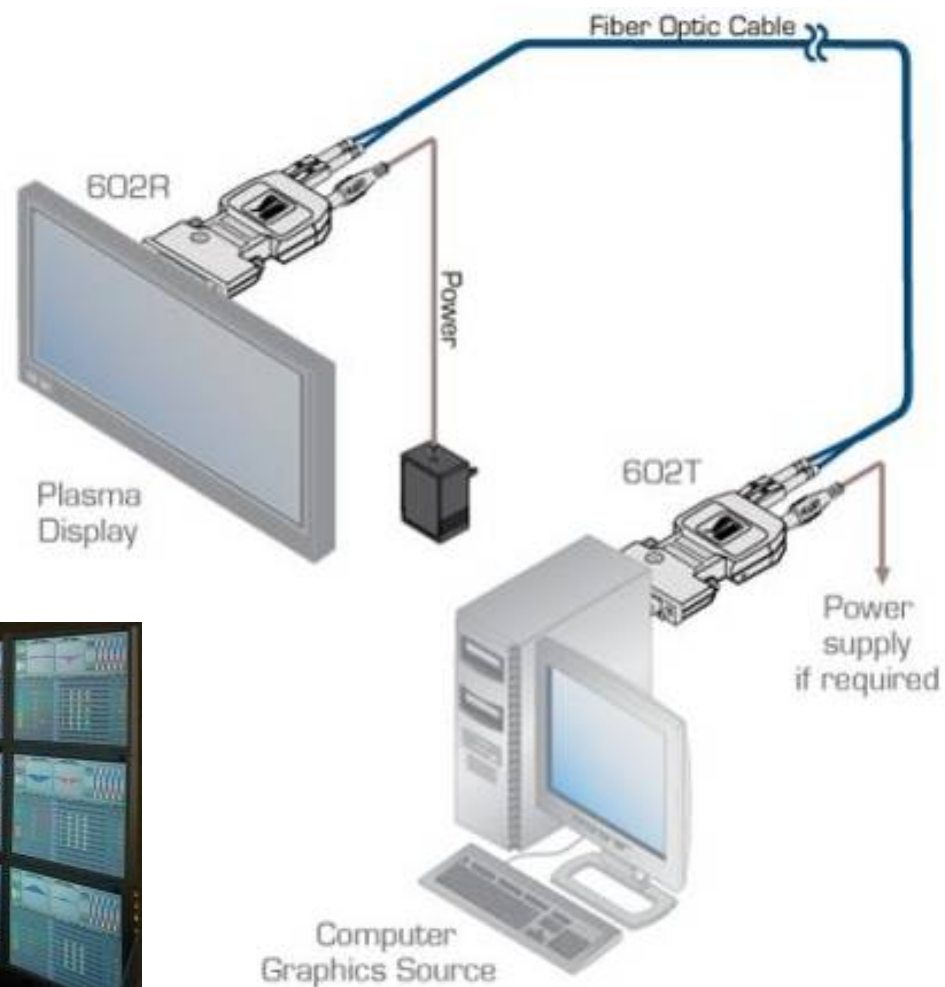


реализованы удлинители для основных интерфейсов:

RS-232, USB, FireWire, VGA, DVI, HDMI и другие

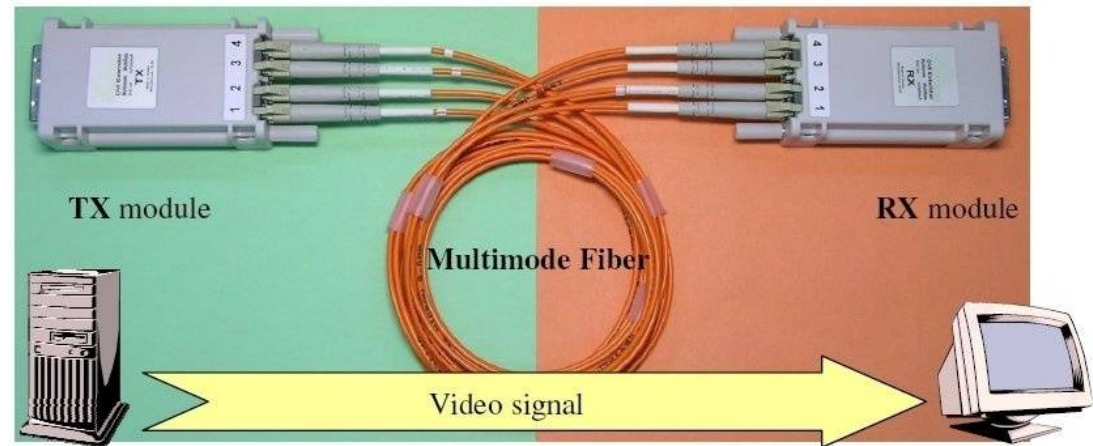
5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов



Signal Display

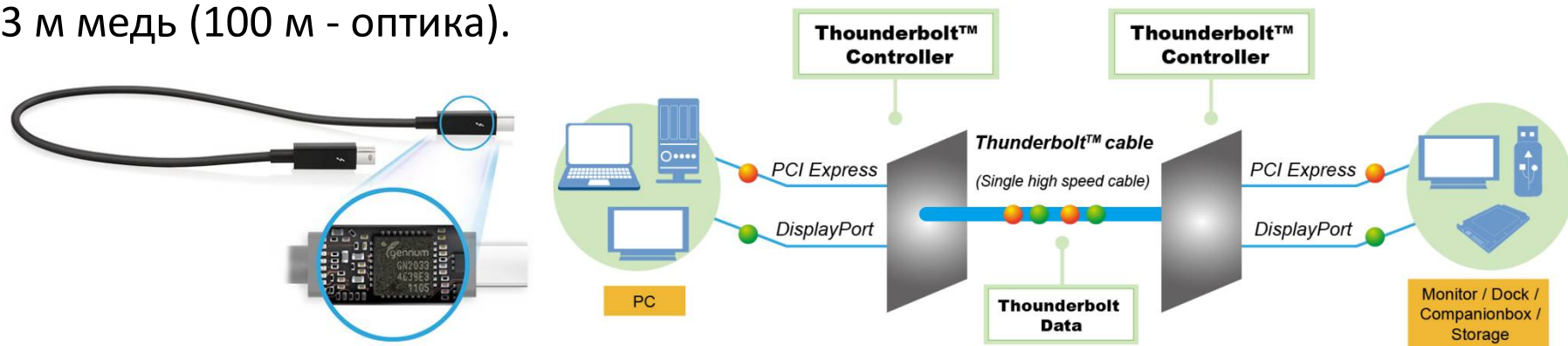


5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов



Высокоскоростной волоконно-оптический интерфейс Thunderbolt (ранее Light Peak), разработанный Intel, предназначена для упрощения подключения устройств и скорости обмена данными до 10 Гб/с (с последующим ростом до 100 Гб/с) между компьютером и периферийными устройствами на расстояние 3 м медь (100 м - оптика).



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов

Высокоскоростной волоконно-оптический интерфейс USB3.0 Active Optical Cable (AOC) от VIA Labs.

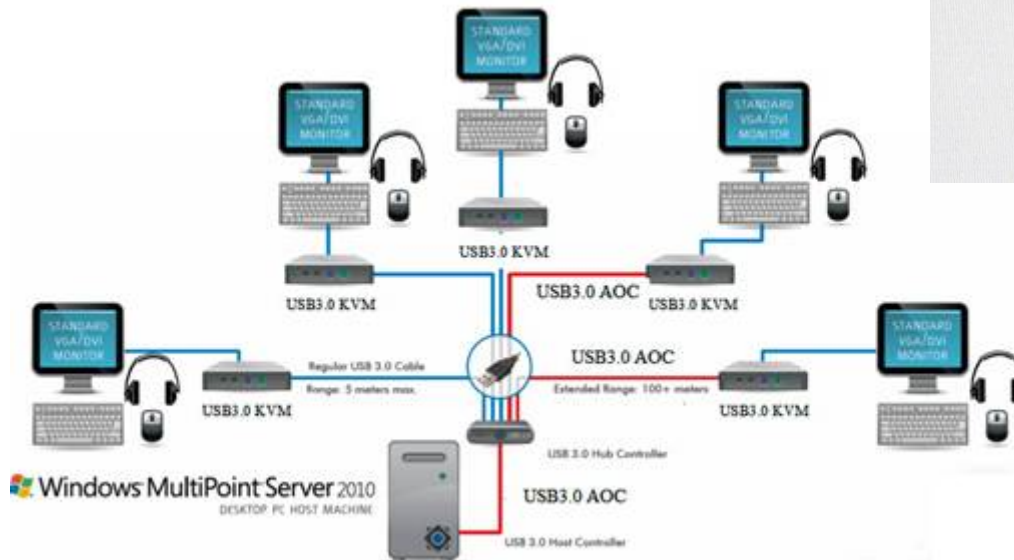
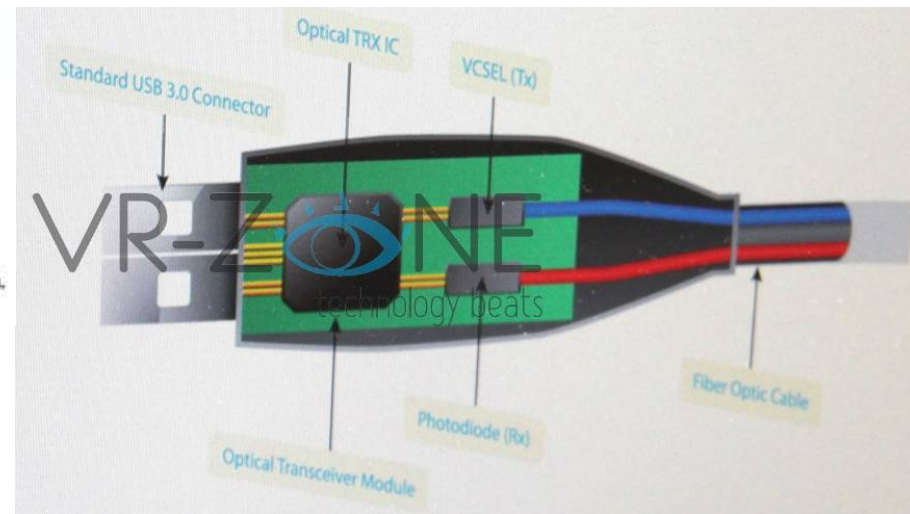
скорость передачи до 5 Gbps на дальности до 100 м (выставка CES 2012)

Feature:

- ◆ 5Gbps Dual Data Rate Transmission over 100 meters
- ◆ Daisy Chain Support
- ◆ Compliant to USB1.1/2.0 path through USB3.0 hub

Application:

- ◆ Home/Office/SOHO Clouding Network
- ◆ w/ High Security Protection
- ◆ USB 3.0 KVM, USB3.0 hub
- ◆ High Speed Super Computer in Data Center Communication
- ◆ Digital FPD, PDP and Projector installation in Conference rooms, Auditoriums and for Kiosk system.
- ◆ Home theater system, Surveillance System, Digital Signage, and Campus training

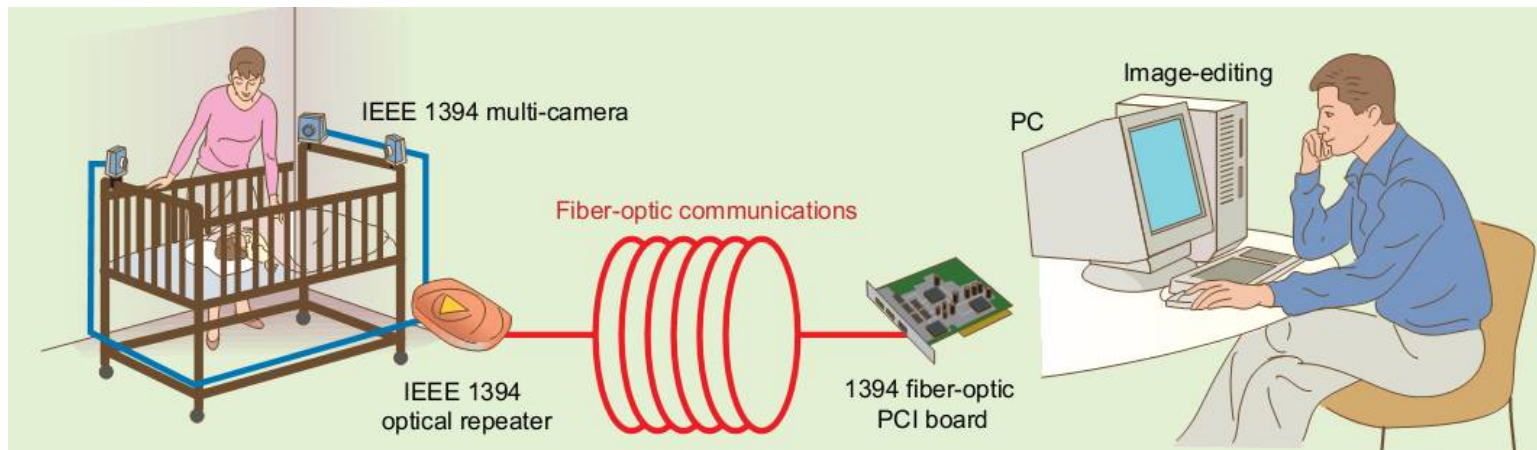


5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов

TOSLINK™ - стандартизированная оптическая система соединения по оптоволокну, применяется для соединения проигрывателей дисков с аудио ресиверами для передачи информации в цифровом виде.

TOSLINK может использовать недорогое 1 мм пластичное оптическое волокно, или может использовать более качественные оптические волокна из кварцевого стекла, это определяет полосу пропускания информации. Качество кабеля позволяет повысить качество звука!



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

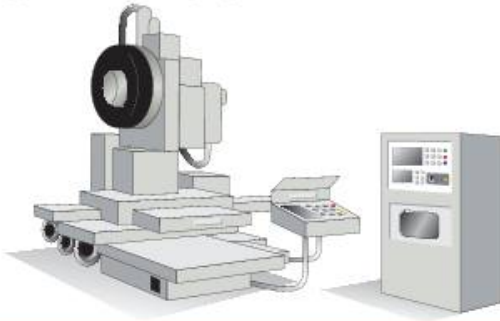
○ Волоконно-оптические удлинители интерфейсов

Волоконно-оптический интерфейс TOSLINK™ - применение

TOSLINK application examples

TOSLINK is used in a wide variety of applications, such as digital audio and factory automation.

Factory automation (FA)



Digital audio



Car audio and navigation systems



Office automation (OA)



5. Волоконно-оптический абонентский доступ

○ Выводы

технология PON позволяет реализовать основные запросы по предоставлению широкополосного абонентского доступа

в настоящее время, на данную технологию переходит МГТС в Москве, что позволяет реализовать не только телефонную связь (передачу голоса), но и предоставлять доступ в Интернет, предоставлять доступ к кабельным ТВ;

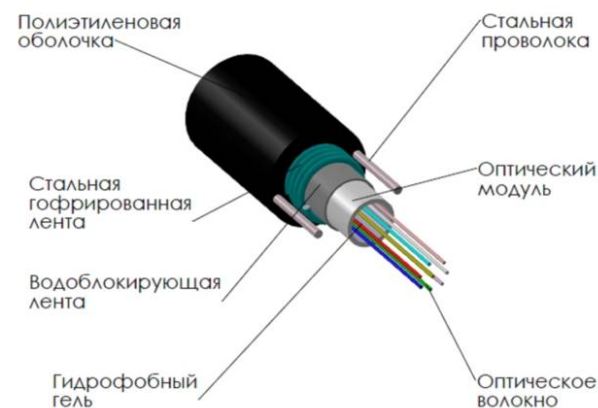
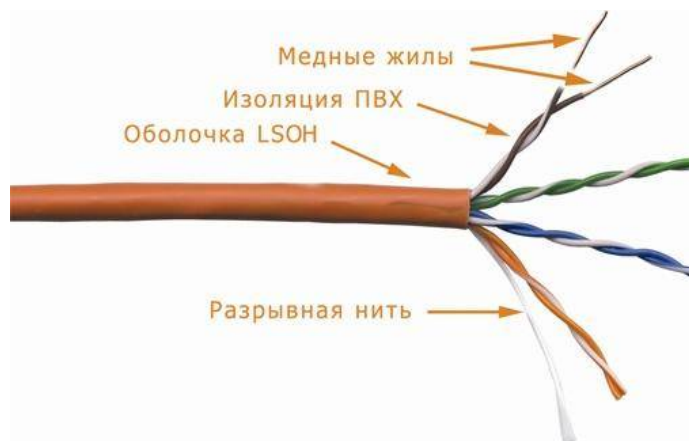
проект Google Fiber в США предполагает перевести на широкополосный доступ по технологии FTTH в различных городах, реализуется в Канзас Сити;

переход на волоконно-оптический доступ повышает эффективность сетей, их надежность, долговечность, возможность будущего наращивания мощности сети;

6. Преимущества волоконно-оптического транспорта

○ Волоконно-оптический транспорт в системах передачи информации

Свойство	Электронный транспорт	Фотонный транспорт
Носитель	Электрон: заряженная частица $e=1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл с массой покоя $m_e=9.1 \cdot 10^{-31}$ кг	Фотон: незаряженная частица с нулевой массой покоя
Среда	Проводник: медь, алюминий, сталь	Диэлектрик: плавленый кварц, стекло, оптические пластмассы
Реализация	Медный кабель (коаксиальный кабель, витая пара и тд). UTP 5 cat: 100 MHz, 100 m, 22 dB/100m	Оптический кабель (многомодовое, одномодовое волокно). SMF: 40 GHz, 100 km, 0.2 dB/km, 1550 nm долговечность, надежность
Угрозы	ПЭМИН, НСИ	ПЭМИН отсутствует, НСИ



6. Преимущества волоконно-оптического транспорта

○ **Волоконно-оптический транспорт в системах передачи информации**

физико-технические преимущества

- высокая технологичность производства;
- малые весогабаритные размеры;
- электробезопасность;
- взрывобезопасность, пожаробезопасность, негорючесть;
- невосприимчивость к внешним электромагнитным полям;
- стабильность, высокая устойчивость к большинству агрессивных сред;
- долговечность, длительная гарантия на сохранение основных параметров;
- надежность, высокая механическая прочность на разрыв и изгиб;
- возможность создания полностью диэлектрического кабеля;

6. Преимущества волоконно-оптического транспорта

○ **Волоконно-оптический транспорт в системах передачи информации**

информационные преимущества

- высокая пропускная способность;
- малые потери, малое ослабление оптического сигнала;
- малые размеры канала связи;
- отсутствие побочных оптических излучений и перекрестных наводок;
- помехозащищенность от электромагнитных полей;
- незначительный уровень собственных шумов;

6. Преимущества волоконно-оптического транспорта

○ **Волоконно-оптический транспорт в системах передачи информации**

эксплуатационно-экономические преимущества

- единая для всех элементов технология производства, которая строится на волоконно-оптической технологии, уже широко применяемой в производстве волоконно-оптических линиях связи;
- общая низкая стоимость при больших производствах, широкая распространенность исходных материалов;
- помехозащищенность от электромагнитных полей;
- долговечность, надежность, стабильность;
- наличие широкого парка оборудования для обслуживания, совместимого с оборудованием для волоконно-оптических линий связи.

7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Основные особенности и направления

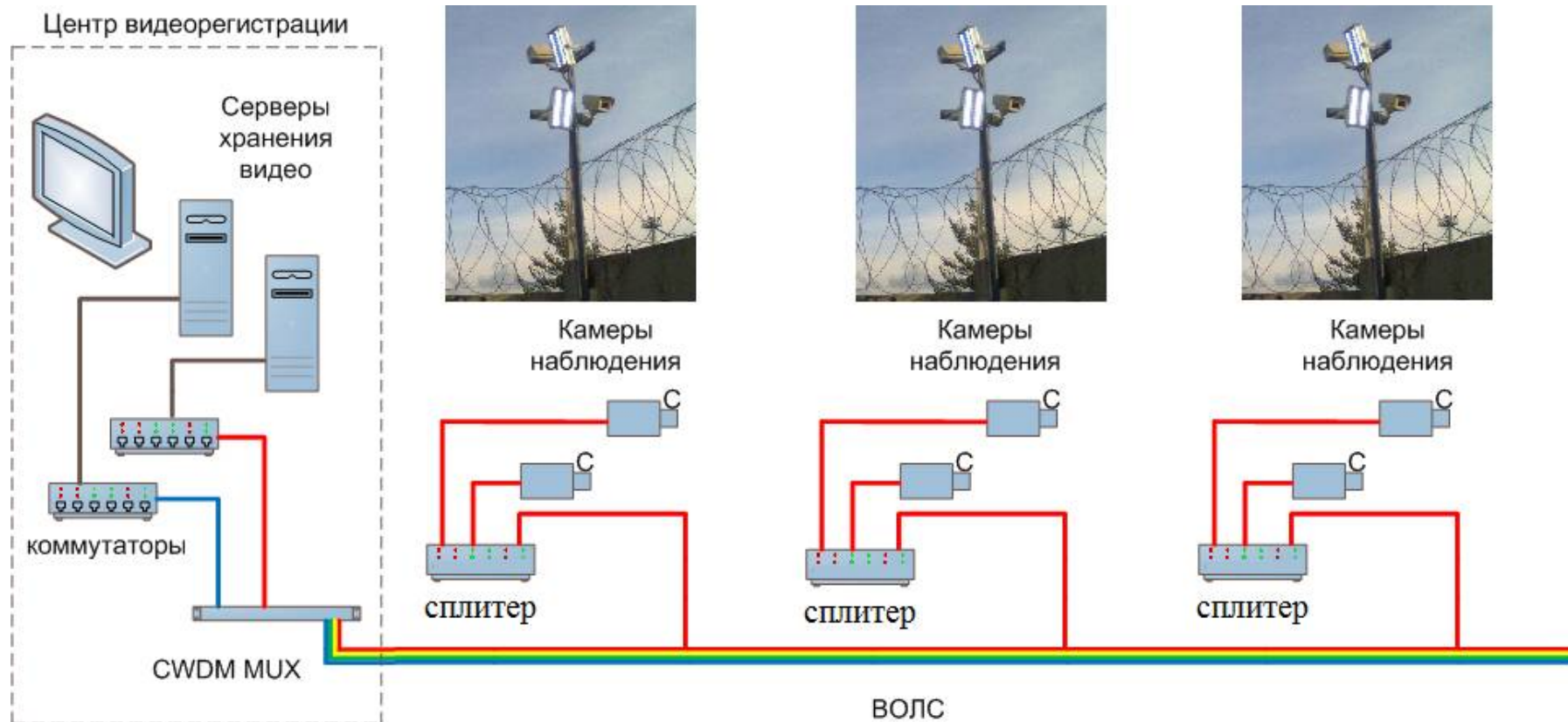
преимущества волоконно-оптических технологий позволяют использовать их для обеспечения информационной безопасности

- высокая защищенность от НСИ с волоконно-оптических каналов, т.к. отсутствует ПЭМИН, физически информационный поток ограничен самим волокном/кабелем и за его пределы не выходит;
- возможность создания полностью диэлектрического кабеля создает трудности по его обнаружению нарушителем, а также для его использования в опасных условиях;
- высокие скорости передачи информации на большие расстояния без активных элементов позволяют уплотнять передаваемый трафик от нескольких абонентов и передавать его на большие расстояния;

7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Системы видеонаблюдения и охраны периметра

применение волоконно-оптических технологии в системах видеонаблюдения и охраны периметра протяженных объектов



7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Системы видеонаблюдения и охраны периметра

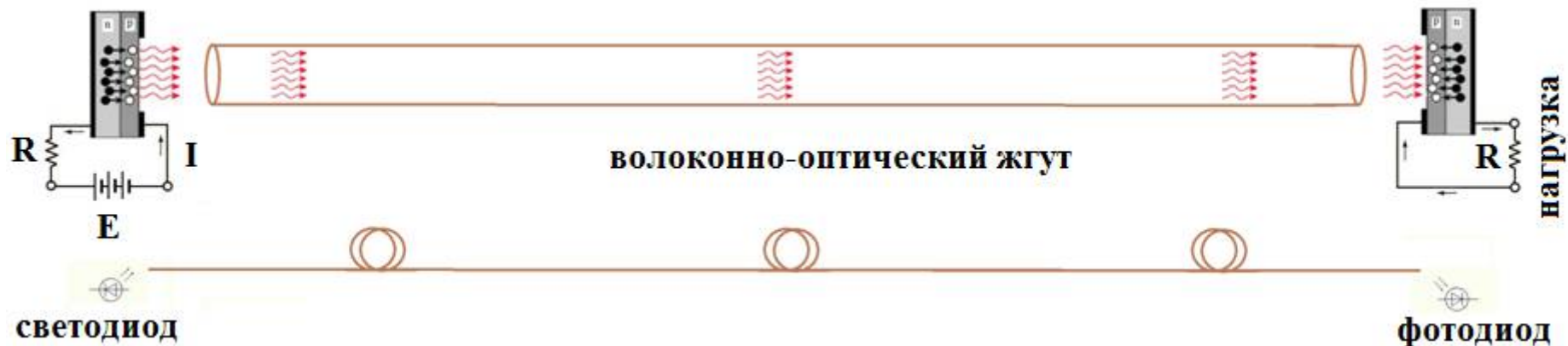
волоконно-оптические линии связи не имеют альтернативы в случаях:

- передачи телевизионных и иных сигналов по кабелю на большие расстояния (от 1 км);
- прокладки линий передач ТВ и служебных сигналов открытым способом (воздушной линией, в лотках, по оградам, стенам зданий и т.п.) при наличии источников помех (радиопередатчики, линии электропередач, электростанции, трансформаторные подстанции, электромеханизмы и агрегаты, транспорт и энергоемкое оборудование, бытовая техника);
- прокладки линий в местности с высокой грозовой активностью;
- необходимости в защите информации от несанкционированного доступа.

7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Волоконно-оптические линии передачи энергии

безопасная и скрытная передача энергии с эффективностью более 50% при кпд светодиода и фотодиода 70%, потерями на передачу можно пренебречь



может быть использована для питания маломощных приборов, датчиков в условиях взрывоопасности, пожарной опасности и т.д.

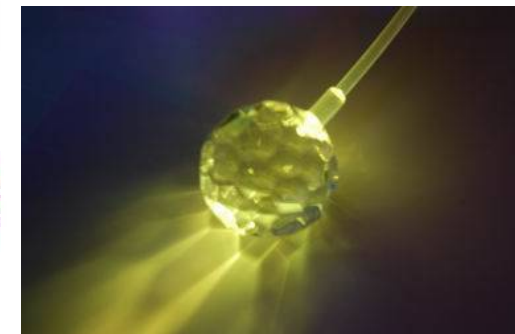
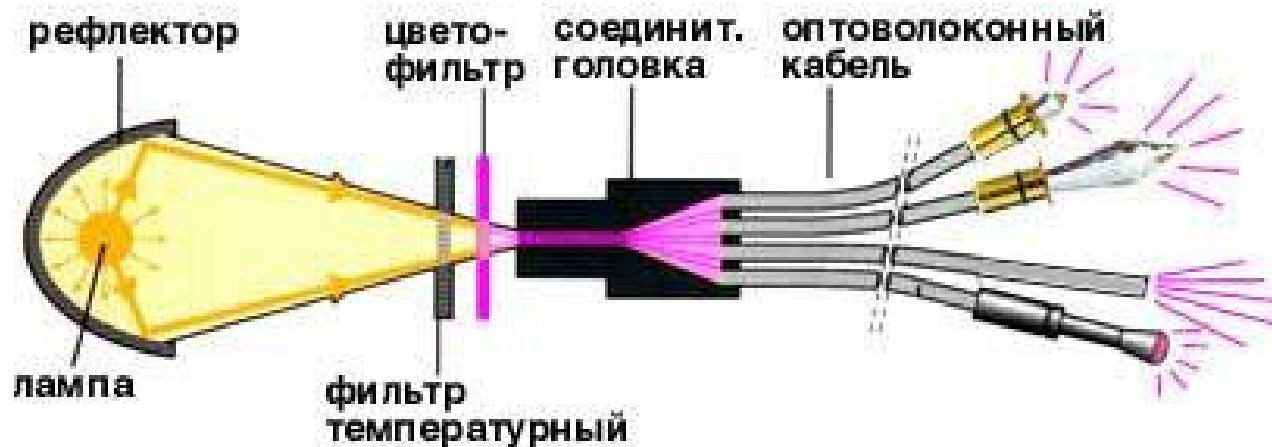
7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Волоконно-оптическое освещение помещений

оптическое волокно бывает торцевого свечения и бокового.

Первый тип устроен так, что свет от проектора попадает с одного конца волокна и выходит из другого. Такое волокно используется, когда надо получить точечный пучок света.

Второй тип устроен так, что свет излучается всей боковой поверхностью волокна. Его удобно использовать, когда с помощью светящейся полоски оптического световода нужно обозначить какие-то линии (ступеньки, дорожки, вывески, буквы и тому подобное).



7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Волоконно-оптическое освещение помещений: примеры



преимущества: пожаробезопасность и электробезопасность; герметичность; отсутствие выделяемого тепла; низкие эксплуатационные расходы; большая механическая прочность; удобство размещения в труднодоступных местах; защищенность от инфракрасного и ультрафиолетового освещения; простота разработки индивидуального решения; отсутствие «светового загрязнения».

недостатки: высокая стоимость; невысокий КПД.

применения: автомобили, аквариумы, аэродромы, бары, бассейны, буи, витрины, водопады, выставки, галереи, госпитали, гостиницы, дежурное освещение, дискотеки, дорожки, железнодорожные вагоны и т.д.

7. Применения волоконной оптики в системах безопасности

○ Выводы

волоконно-оптические технологии имеют высокие потенциальные возможности применения в системах безопасности для создания безопасных систем связи:

- дальних коммуникаций, так и ближних коммуникаций;
- стационарных, так и мобильных систем связи;

волоконно-оптические технологии позволяют свести ПЭМИН информационного оборудования к минимуму (на уровень фона):

- путем перехода на волоконно-оптические интерфейсы и отказа от электрических проводных интерфейсов;
- внедрением волоконно-оптических систем передачи информации внутри электронного оборудования, в том числе и в электронных микросхем, использованием кремневой фотоники;

Темы для обсуждения по лекциям 3-4

«Волоконно-оптический транспорт»

Характеристика цилиндрических диэлектрических световодов.

Оптическое волокно и кабель.

Волоконно-оптические телекоммуникации.

Волоконно-оптический абонентский доступ.

Преимущества волоконно-оптического транспорта информации и энергии.

Применение волоконно-оптических технологий передачи информации и энергии в системах безопасности объектов информатизации.