

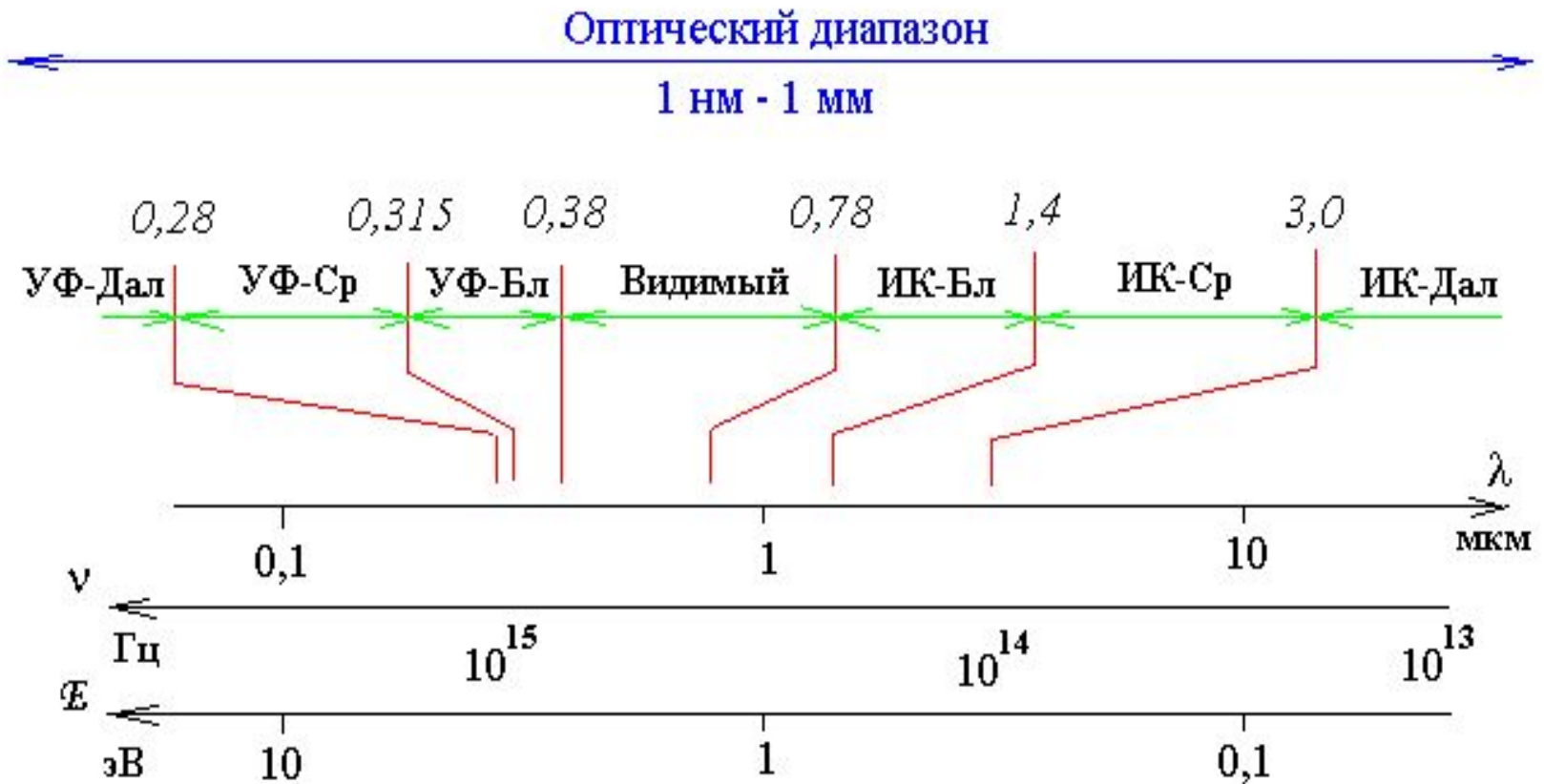
# Оптические системы связи

## Лекция 22

# Распространение оптических СИГНАЛОВ

- В пределах прямой видимости —  
лазерные системы связи
- По кабелю —  
ОПТОВОЛОКОННЫЕ СЕТИ СВЯЗИ

# Оптические сигналы



# Основные достоинства

- Высокая информационная емкость оптического канала (частота световых колебаний в  $10^3$ - $10^5$  раз выше, чем в освоенном радиотехническом диапазоне)
- Острая направленность светового излучения, обусловленная тем, что угловая расходимость луча пропорциональна величине  $\lambda$  и может быть меньше  $1'$

# Основные достоинства

- Возможность двойной-временной пространственной модуляции-модуляции светового луча
- Идеальная гальваническая развязка входа и выхода, бесконтактность
- Возможность непосредственного оперирования образами

# Параметры светового сигнала

- Скорость распространения световой волны в среде равной  $v=c/n$ , где  $n$ - показатель преломления
- Поскольку  $n$  зависит от длины волны (обычно растет с уменьшением  $\lambda$ )
- количество характеризуемая величиной  $dn/d\lambda$

# Когерентность светового луча

- Когерентность (согласованность во времени разность фаз-постоянна) является важнейшей отличительной особенностью источника, генерирующего это излучение
- Реальный луч света представляет собой наложение волн, генерируемых большим числом элементарных осцилляторов
- Когерентное излучение обеспечивают лишь лазеры, прочие источники света некогерентны

# Модуляция излучения

- Только с помощью модуляции возможен высокоскоростной ввод полезной информации в световой луч
- Модулироваться могут: амплитуда, частота, направление вектора поляризации
- Выделяют внутреннюю и внешнюю модуляцию
- Внутренняя (в самом излучателе) - за счет изменения режима возбуждения
- Внешняя - с помощью специальных устройств, управляющих теми или иными параметрами колебаний



# Источники излучения

- Источники некогерентного излучения
- Тепловые
- Люминесцентные
- Газоразрядные
- Светодиоды
- некогерентным излучением обладают так же естественные объекты

# Источники когерентного излучения

- Газовые лазеры( гелий-неоновый  $\lambda=0,63$ мкм, аргоновый-  $\lambda =0,488$  и  $0,515$ мкм, криптоновый-  $\lambda =0,568$  мкм)
- Твердотельные лазеры
- (диэлектрик с центрами люминесценции: иттриево-алюминиевый гранат с атомами неодима YAG:Nd, причем  $\lambda =1,06$  мкм, что почти идеально для ВОЛС)

# Энергия лазерного излучения

- Высокая пространственная когерентность лазерного излучения позволяет осуществлять значительную концентрацию световой энергии и получать световые пучки с интенсивностью  $10^8$ - $10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>
- чему соответствуют напряженности поля  $10^5$ - $10^8$  В/см

# Спецификация лазерного света

- Лазер является специфическим источником излучения
- Свет лазера нельзя принимать как излучающую точку с параллельным распространением лучей
- Необходимо учитывать конфигурацию резонатора и расстояние до точки наблюдения
- Лазерному излучению присуще неравномерное распределение по сечению луча и по направлениям

# Характеристики некоторых лазеров

| Тип лазера    | Размер,<br>см | Род работы                  | К.п.д.,<br>% | Мощность<br>мВт |
|---------------|---------------|-----------------------------|--------------|-----------------|
| <i>He-Ne</i>  | 10            | Непрерывный                 | 0,1-0,01     | 0,1-10          |
| <i>YAG:Nd</i> | 1             | Импульсный и<br>непрерывный | 1-2          | 10-10000        |
| <i>GaAlAs</i> | 0,1           | Импульсный и<br>непрерывный | 10-20        | 10-100          |

# Приемники излучения

- Тепловые
- фотоэлектрические( на внутреннем и внешнем фотоэффекте)
- фотохимические
- прочие

# Тепловые приемники излучения

- Основаны на преобразовании оптического излучения сначала в тепловую энергию, а потом в электрическую
- Различают болометры, термоэлементы, калориметры, пироэлектрические оптико-акустические приемники и др

# Фотоэлектрические приемники

- На внутреннем фотоэффekt:  
фоторезисторы, фототранзисторы, ПЗС
- На внешнем: фотоэлементы,  
фотоумножители, электронно-  
оптические преобразователи



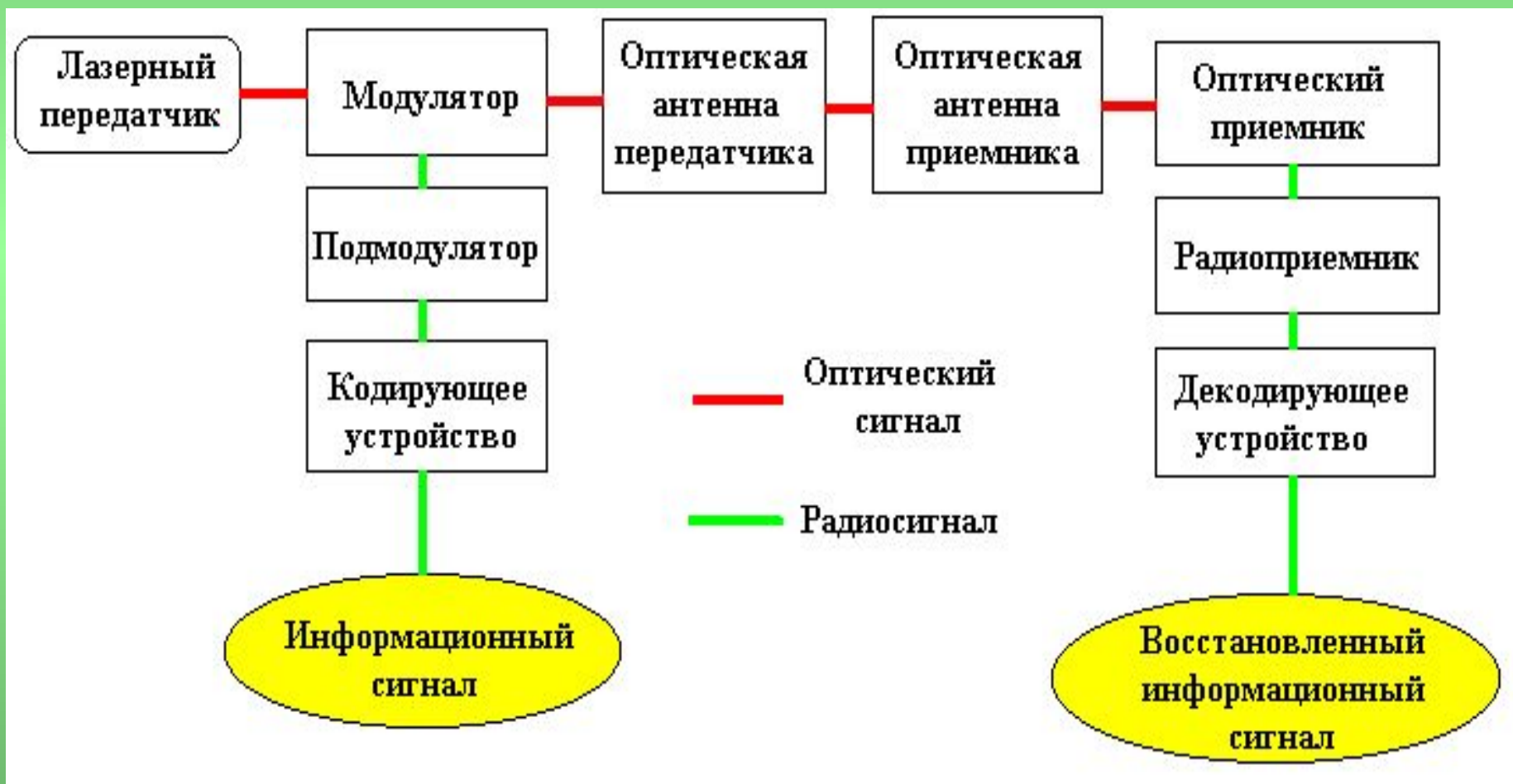
# Распространение оптических СИГНАЛОВ

- В атмосфере
- По кабелю

# Лазерные системы связи

- Лазерные системы связи могут быть снабжены газовыми, твердотельными и полупроводниковыми лазерами
- открытая линия связи функционирует только в пределах прямой видимости, поэтому в земных условиях дальность действия ее ограничена
- В космическом пространстве, где отсутствует поглощение излучения атмосферой, возможна связь на большие расстояния

# Модель лазерной системы связи



# Методы модуляции лазерного излучения

| <b>Тип</b>                                       | <b><i>Аналоговая</i></b>   | <b><i>Цифровая</i></b>      |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| <b><i>Параметр колебания несущей частоты</i></b> | Непрерывный                | Квантованный и кодированный |
| <b><i>Пример</i></b>                             | Модуляция по интенсивности | ИКМ по интенсивности        |

# О размерах светового пятна

- Ширина главного лепестка диаграммы направленности  $\alpha = 1,22 * (\lambda/d) \Rightarrow 1,22 * 10^{-5}$
- если длина связи составляет  $r = 10$  км, то в месте приема диаметр светового пятна принимает размер
- $D = a * r \Rightarrow 12$  см

# Распространение светового луча в атмосфере

- Оптический сигнал претерпевает изменения, к которым относятся:
- энергетическое ослабление, обусловленное поглощением атмосферными газами и молекулярным рассеянием
- флуктуации амплитуды и фазы волны, вызванные случайными неоднородностями показателя преломления воздуха
- рефракция, вызванная неоднородностями атмосферы

# Атмосферные оптические помехи

Фоновые помехи от  
посторонних источников

Помехи за счет  
искажений сигналов

Тепловое  
излучение

Свечение  
атмосферы

Отражение  
подстилаю-  
щей поверх-  
ностью

Помехи  
прямого и  
обратного  
рассеяния

Энергети-  
ческий  
уровень

Пространст-  
венная  
и времен-  
ная  
модуляция

Энергети-  
ческие  
потери

Временная  
модуляция

Пространст-  
венная  
модуляция

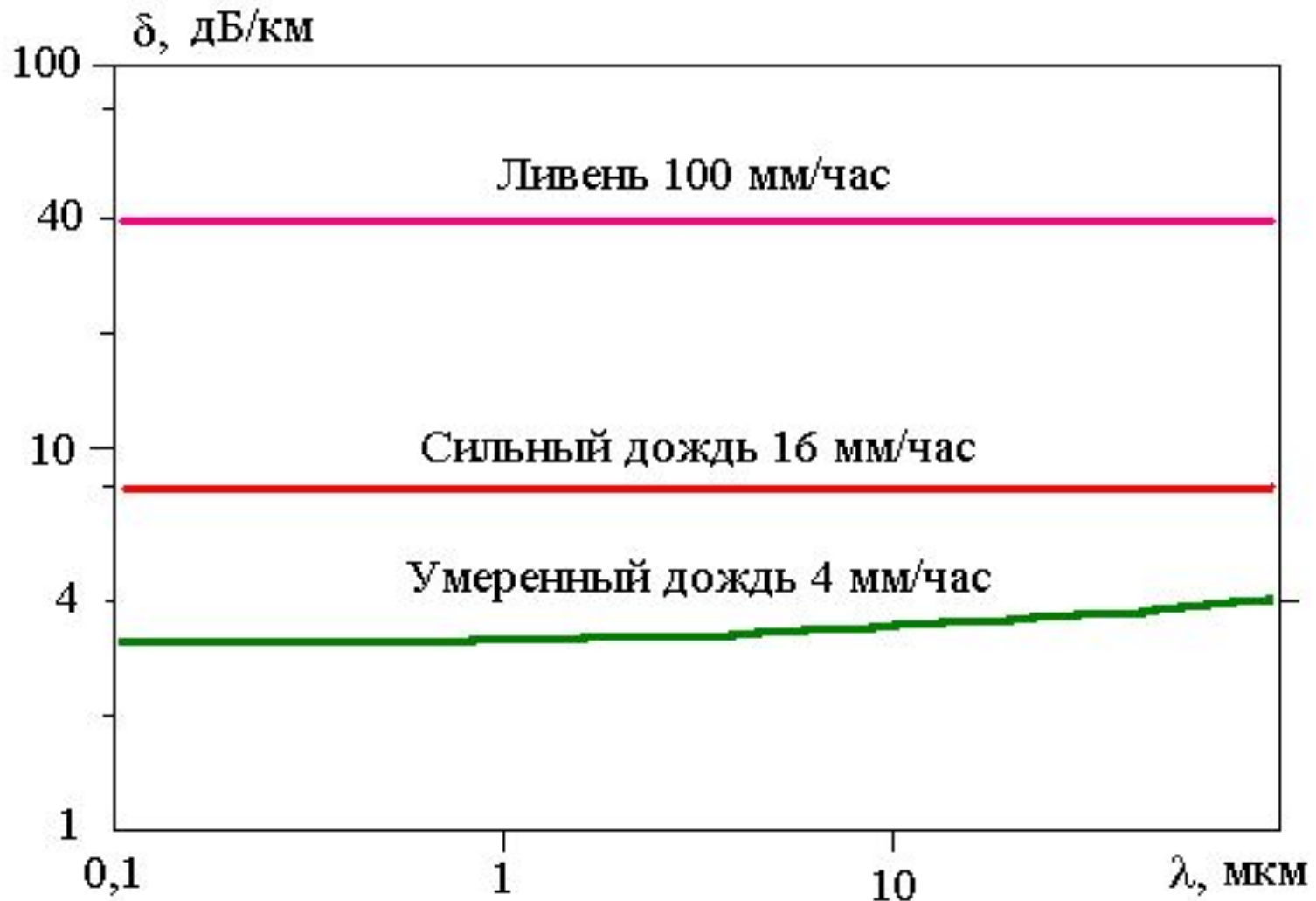
Молекуляр-  
ное и аэро-  
зольное  
рассеяние

Молекулярное  
поглощение

Рассеяние  
турбулент-  
ной атмос-  
ферой

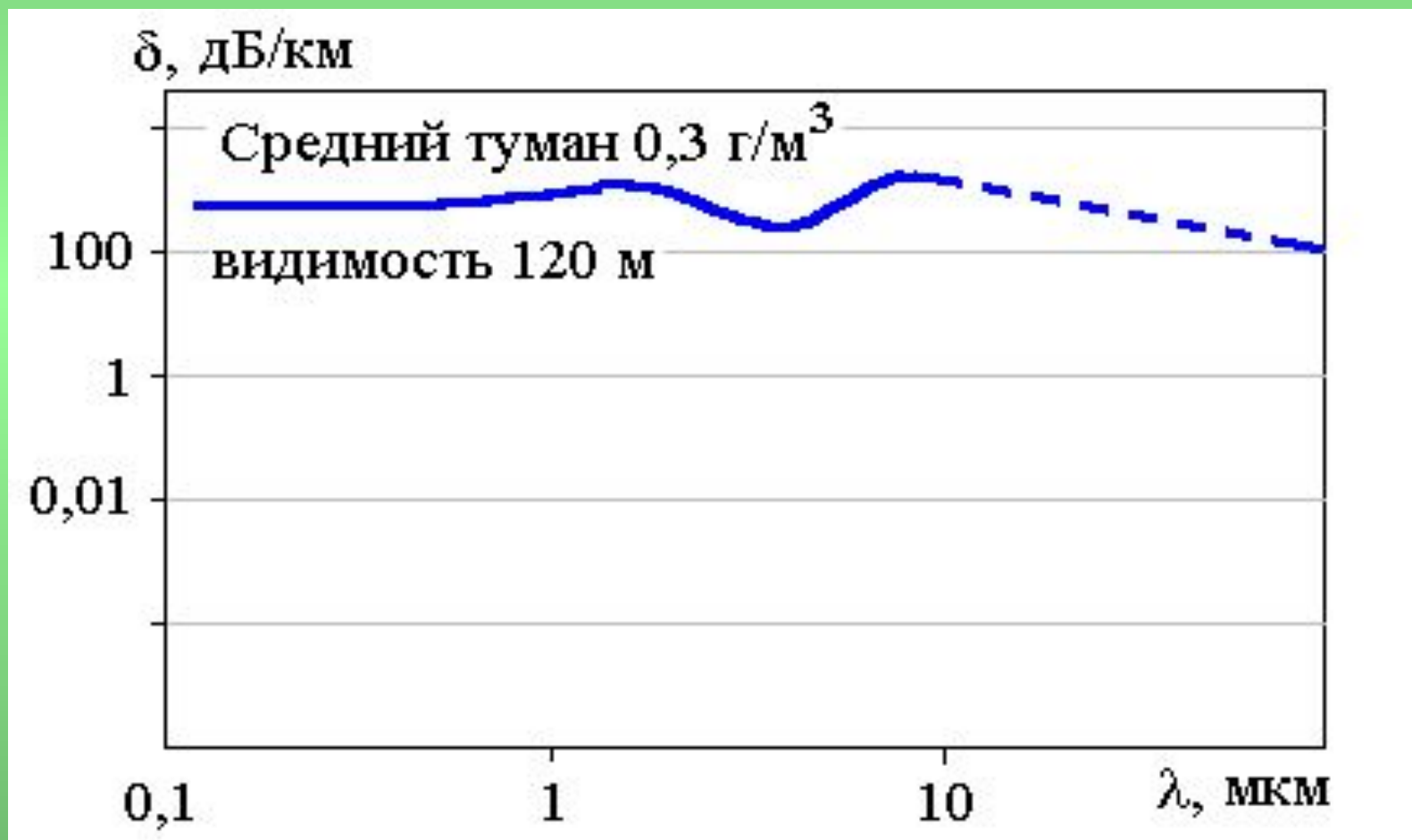
Рефракция

# Сильное поглощение при дожде





# Коэффициент поглощения в тумане



Волны оптического диапазона можно  
применять только в окнах прозрачности  
атмосферы

| Границы окон<br>прозрачности, мкм | Коэффициент прозрачности<br>при прохождении через всю<br>атмосферу, % |
|-----------------------------------|---|
| 0,4-0,85                          | 100   |
| 0,95-1,05                         | 70  |
| 2-2,5                             | 80  |

# Волоконно-оптическая сеть

- Это информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии СВЯЗИ

# Развитие оптических коммуникаций



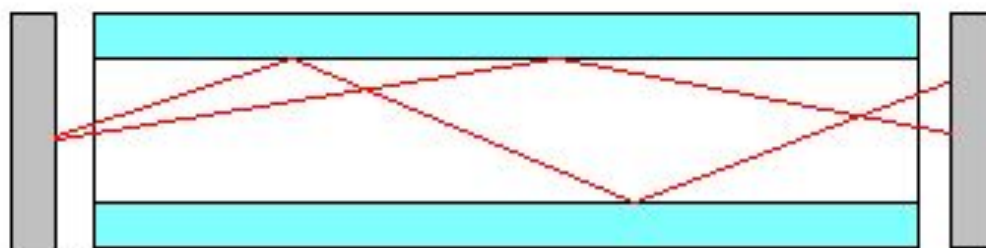
# Для сравнения

- Уже проложены подводные магистрали через Атлантический и Тихий океаны с регенерационными участками длиной свыше 50 км
- Для традиционных коаксиальных кабелей требуется установка регенераторов через каждые 6,3 и даже 1,5 км

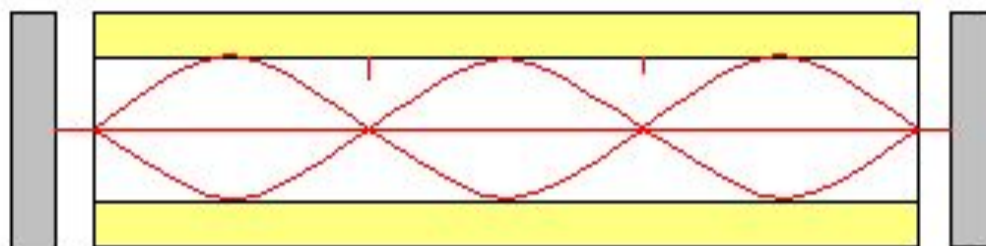
# Основные достоинства

- Широкая полоса пропускания (частота несущей  $10^{14}$  ГГц)
- Малое затухание светового сигнала в волокне (0,2 дБ/км на длине волны 1,55 мкм)
- Низкий уровень шумов, высокая помехозащищенность
- Высокая защищенность от несанкционированного доступа

# Типы оптических волокон



*Многомодовое  
ступенчатое  
волокно*



*Многомодовое  
градиентное  
волокно*



*Одномодовое  
ступенчатое  
волокно*

Источник  
излучения

Волокно

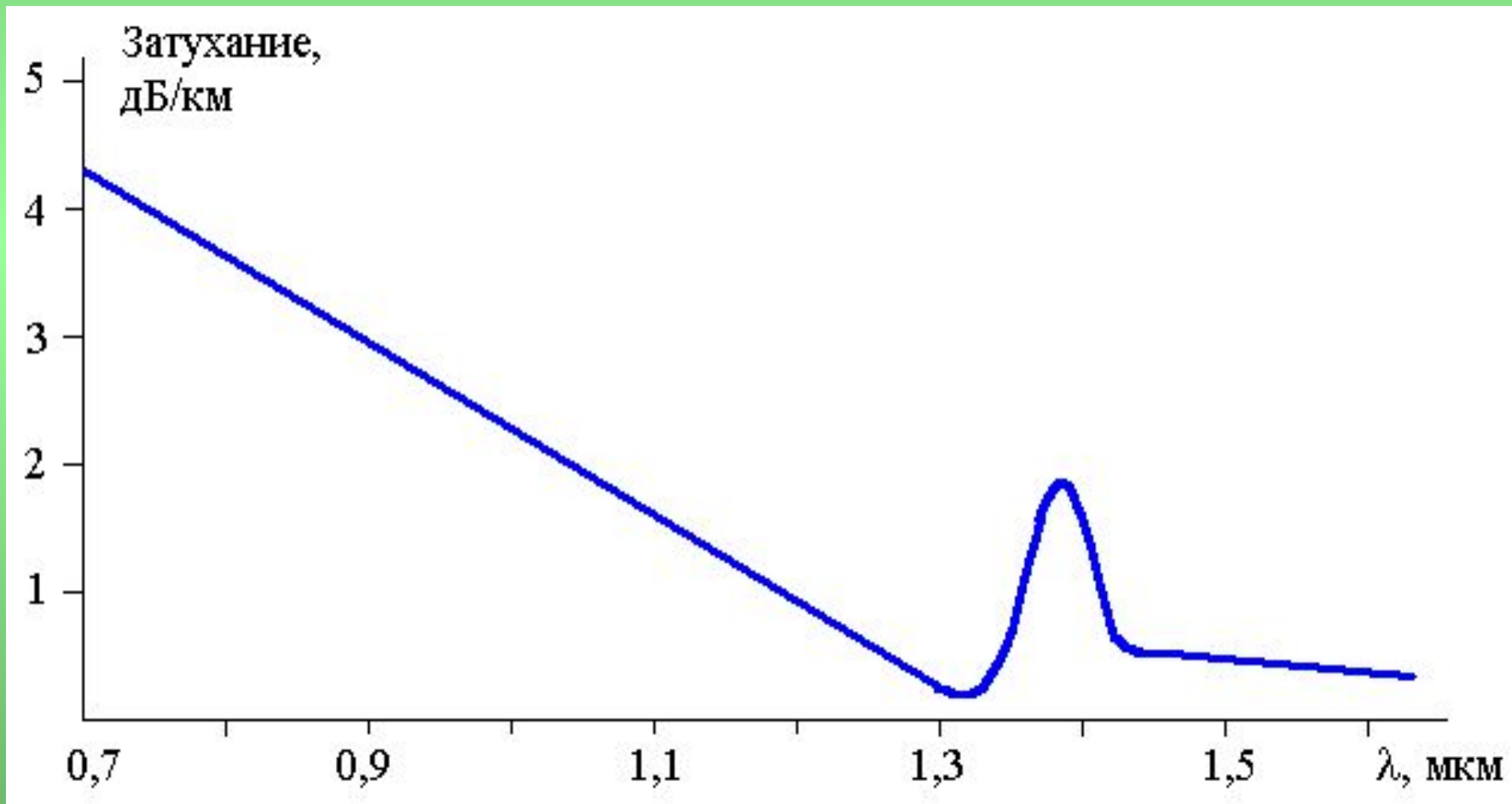
Приемник  
излучения

# Передаточные характеристики ВОЛОКОН

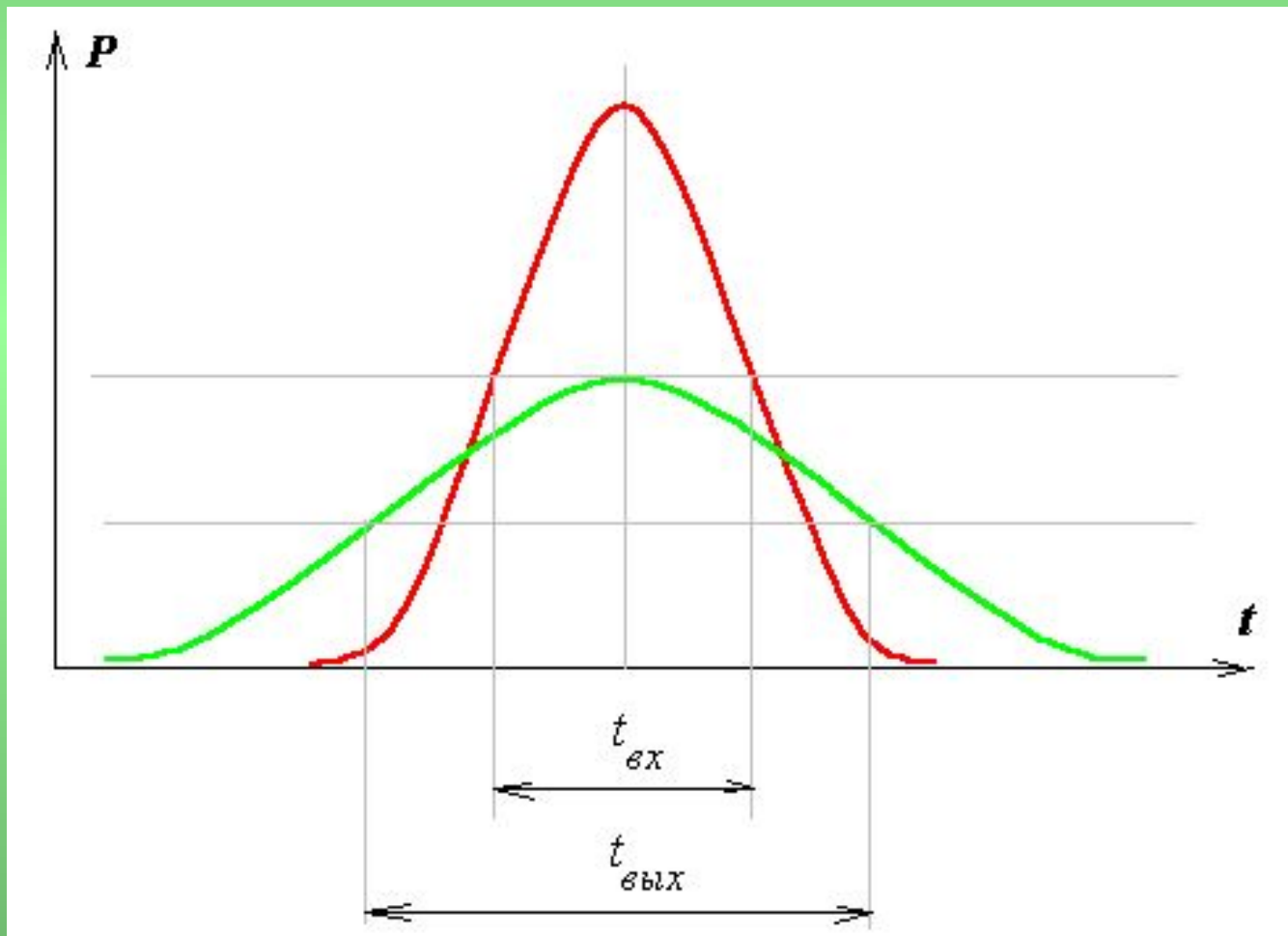
- Затухание, ослабление (дБ/км)- обусловлено потерями мощности из-за поглощения и рассеяния энергии
- Дисперсия импульсов (нс/км)-вызвана различием скоростей мод, свойствами материала



# Рабочие длины волн оптических систем



# ФОРМЫ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ИМПУЛЬСОВ



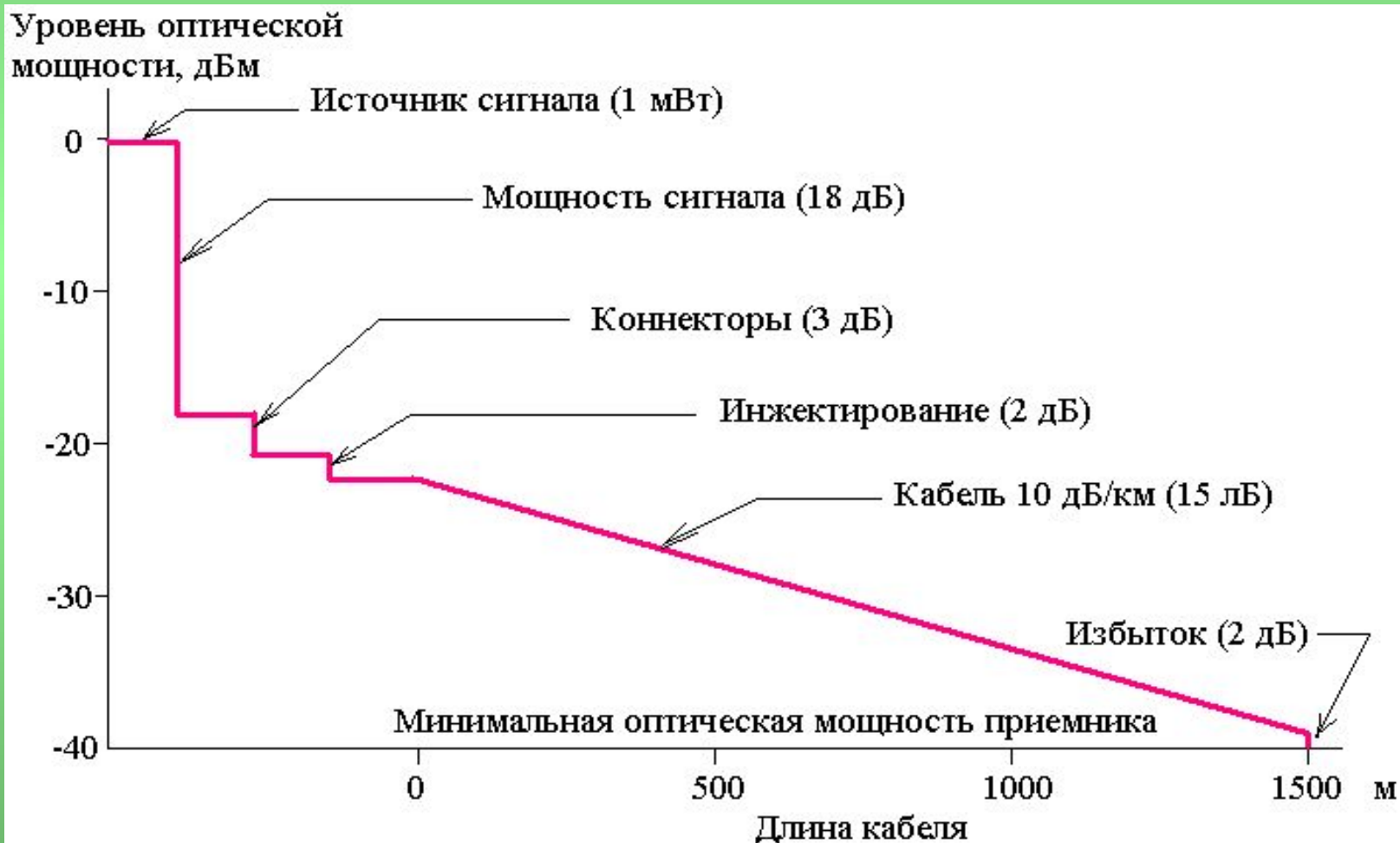
# Характеристики оптических кабелей

| Характеристика кабеля | Городской   | Зоновый     | Магистральный |
|-----------------------|-------------|-------------|---------------|
| Тип световода         | Градиентный | Градиентный | Одномодовый   |
| Длина волны, мкм      | 0,85; 1,3   | 1,3; 1,55   | 1,3; 1,55     |
| Затухание, дБ/км      | 3-5         | 0,7 -1      | 0,2-1         |
| Полоса, МГц*км        | 200-500     | 500-1000    | -             |

# Потери мощности при передаче

- При вводе света в волокно
- В оптическом волокне
- В точках соединения коннекторов
- В муфтах

# Потери мощности передаваемого сигнала



# Сети FDDI

- FDDI-волоконно-оптический распределенный интерфейс данных)- один из наиболее распространенных высокоскоростных стандартов передачи данных по волоконно-оптическому кабелю
- Технология FDDI во многом основывается технологии Token Ring

# Основные характеристики

- Скорость передачи-100 Мбит/с
- Тип доступа к среде-маркерный
- Максимальный размер кадров данных 4500 байт
- Максимальное расстояние между станциями-2км( много многомодовое волокно), 100 м (витая пара)

# Основные отличия от Token Ring

- В FDDI станция отпускает маркер непосредственно за окончанием передачи кадра, тогда как в Token Ring станция удерживает маркер до тех пор, пока не получит все отправленные пакеты
- FDDI не использует приоритет и поля резервирования, которые Token Ring использует для выделения системных ресурсов



# ВОЛС

- По сравнению с существующими системами связи на медных кабелях волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) обладают рядом преимуществ
- Широкая полоса пропускания позволяет организовывать по одному такту необходимое число каналов с дальнейшим их наращивание

# Возможности ВОЛС

- Абоненту предоставляются любые виды услуг связи(телевидение, телефакс, широкополосное радиовещание, справочное обслуживание. Местную связь и др)
- Обеспечивается высокая помехозащищенность от электромагнитных помех

# Терминология

- *SONET* – *Synchronous Optical NET* – синхронная оптическая сеть (американский стандарт)
- *SDH* – *Synchronous Digital Hierarchy* – синхронная цифровая иерархия (европейский стандарт)
- *PDH* – *Plesiochronous Digital Hierarchy* – плезиохронная цифровая иерархия [плезио - близкий]

# Скорости технологий *SDH/SONET*

| <b><i>SDH</i></b> | <b><i>SONET</i></b>  | <b><i>Скорость,<br/>Мбит/с</i></b> |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|
| -                 | <i>STS-1, OC-1</i>   | 51,840                             |
| <i>STM-1</i>      | <i>STS-3, OC-3</i>   | 155,520                            |
| <i>STM-3</i>      | <i>STS-9, OC-9</i>   | 466,560                            |
| <i>STM-16</i>     | <i>STS-48, OC-48</i> | 2 488                              |

# Передающая часть

- На передающей станции первичные сигналы в электрической форме поступают на аппаратуру систему передачи, с выхода которой групповой сигнал передается в оборудование сопряжения (ОС)
- В ОС электрический сигнал преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту

# Коррекция и регенерация

- При распространении оптического сигнала по оптическому волокну происходит его ослабление и искажение
- Для увеличения дальности связи через определенное расстояние, называемое участком ретрансляции, устанавливаются обслуживаемые и необслуживаемые станции, где производится коррекция искажений и компенсация затухания

# Двойное преобразование

- На промежуточных станциях производится обработка(регенерация) электрического сигнала
- Поэтому промежуточные станции ВОЛС строятся с преобразование оптического сигнала в электрический и обратным преобразование на выходе

# Метод модуляции

- Для модуляции оптической несущей информационным сигналом применяется модуляция по интенсивности (МИ) оптического излучения
- Выбор метода МИ для оптических систем передачи обусловлен простотой реализации как на передаче, так и на приеме сигнала



# Поле

- Мгновенное значение электрического поля монохроматического оптического излучения

$$E(t) = E_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $E_m$  – амплитуда поля,  $\omega_0$  и  $\varphi_0$  – соответственно частота и фаза оптической несущей

# Усредняя интенсивность

- Мгновенное значение интенсивности

$$P_t = E^2(t) = E_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

а усреднение по периоду

$$T_0 = 2\pi/\omega_0$$

дает величину

$$P = 0,5 E_m^2,$$

которая называется средней

**ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ИЛИ МОЩНОСТЬЮ**

# Модуляция интенсивности

- При МИ именно величина  $P$  изменяется в соответствии с модулирующим сигналом  $s(t)$ , т.е.  $P(t) \sim s(t)$

# Цифровые сигналы

- Оптические сигналы являются, как правило, цифровыми
- Это обусловлено тем, что передача аналоговых сигналов требует высокой степени линейности промежуточных усилителей, которую трудно обеспечить в оптических системах

# Используются однополярные сигналы

- Особенность оптических цифровых систем состоит в том, что передача ведется только однополярными импульсами электрического сигнала, модулирующего оптическую несущую
- Объясняется это тем, что модулируется не амплитуда, а мощность оптического излучения

# Особенности

- В двухуровневый сигнал вносится избыточность для устранения длинных последовательностей нулей.  
Затрудняющих тактовую синхронизацию
- В ВОЛС используется цифровая система с временным разделением каналов и ИКМ модуляцией интенсивности излучения источника

# Временное мультиплексирование

- Коммутатор мультиплексора может последовательно отирать из каналов любую логически осмысленную для данной технологии последовательность бит, составляя из них выходную последовательность
- Этот процесс называется «интерливингом» или чередованием

# Виды чередования

- Чередование бит- «бит-интерливинг»- коммутируется по одному биту на канал
- чередование байт- «байт-интерливинг»- по байту на канал
- Чередование символов
- чередование блоков



# Передача и прием

- На передаче используется полупроводниковый лазер, который обеспечивает непосредственное преобразование электрического сигнала в оптический
- Прием осуществляется фотодетектором, представляющим собой прибор, выходной ток которого пропорционален входной мощности падающего излучения

# Мультиплексирование по длинам волн

- В современных оптических системах связи используется метод мультиплексирования с разделением по длине волны (МВР, волновое мультиплексирование ) WDM – wave division multiplexing

# Метод волнового мультиплексирования

- Суть метода волнового мультиплексирования заключается в объединении нескольких оптических несущих  $\lambda_i$  и передаче полученного сигнала  $\Sigma \lambda_i$  по одному волокну с последующим выделением несущих, например, путем их фильтрации, на приемной стороне

# Аналогии

- ВОЛС метод волнового мультиплексирования играет ту же роль, то и мультиплексирование с частотным разделением для аналоговых систем передачи данных
- По этой причине системы с мультиплексированием часто называют оптического мультиплексирования с частотным разделением (ОМЧР)

# Различия

- Однако по сути своей эти схемы (ЧРК и ОМЧР) существенно отличаются друг от друга
- Их отличие состоит не только в использовании оптического сигнала вместо электрического
- При ЧРК используют механизм АМ (с подавлением одной боковой полосы), модулирующий сигнал которой одинаков по структуре

# Преимущество МВР

- При МВР несущие генерируются отдельными источниками(лазерами), сигналы которых просто объединяются мультиплексором в единый многочастотный сигнал
- Каждая составляющая (несущая) такого сигнала принципиально может передавать поток цифровых сигналов, сформированных по законам различных сетевых технологий (АТМ, SDH, RDN...)

# Модель взаимодействия транспортных технологий

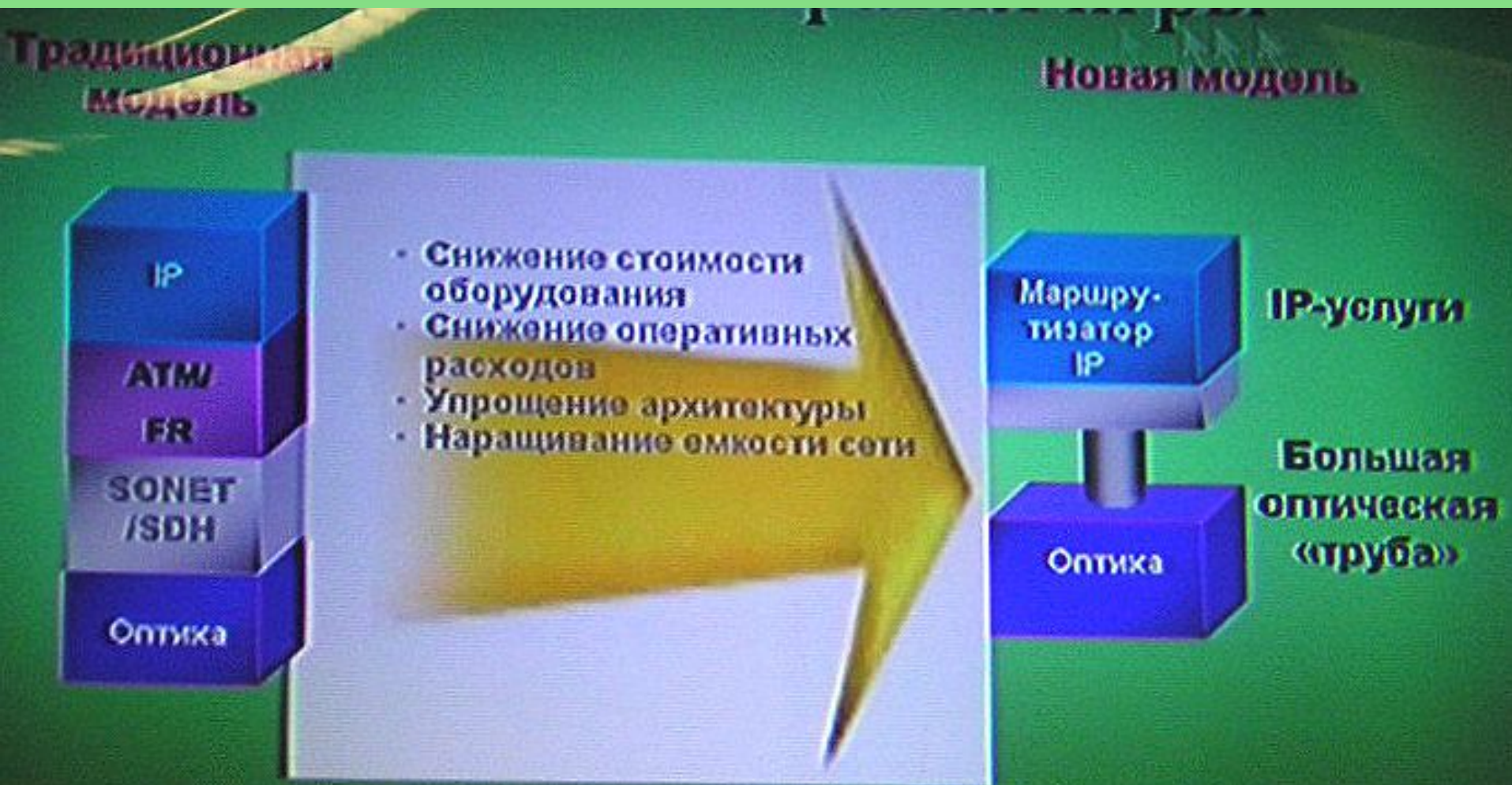


# Взаимодействие

- Модель имеет четыре уровня
- промежуточный уровень WDV как и SDH/SONET-обеспечивает физический интерфейс, позволяющий выводить сигналы в оптическую среду передачи не только технологиям SDH/SONET, но и ATM и IP



# Изменения правил игры



# На практике

- Волновое мультиплексирование практически используется уже более 10 лет
- первоначально оно было направлено на объединение двух основных несущих 1310 и 1550 нм в одном оптоволокне

# Широкополосные и узкополосные МВР системы

- Широкополосными называют МВР системы с разносом по длине волны 240 нм
- Узкополосными МВР системами считают такие, в которых разнос на порядок ниже 24 нм
- Малый разнос длин волн позволяет реализовывать 4 канал в 3-м окне (1550нм)

# Компонент ВОЛС

- Лазерные модули-предающие оптические модули
- Оптические усилители
- Оптические разветвители
- Оптические модуляторы
- Оптические волновые конверторы
- Оптические коммутаторы
- Оптические аттенюаторы
- Оптические приемники

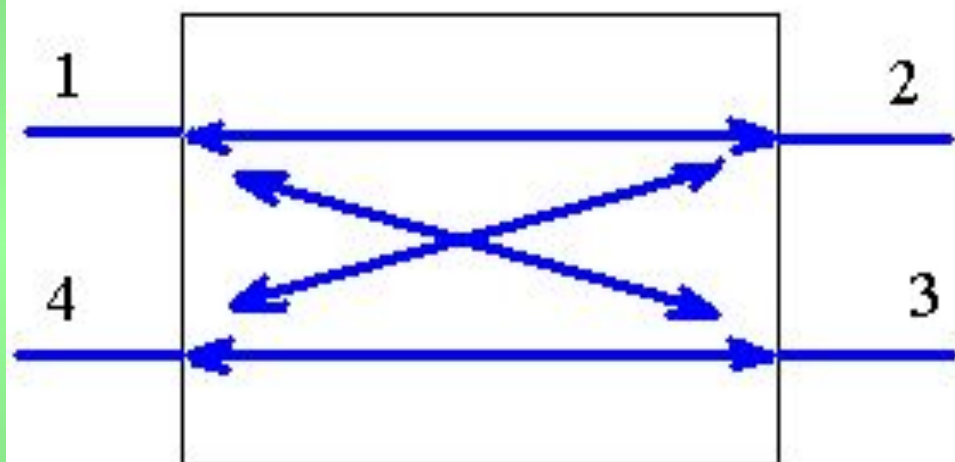
# Параметры передающих оптических модулей

| Параметр                     | ПОМ-22 | ПОМ-23 |
|------------------------------|--------|--------|
| Длина<br>волны, нм           | 1300   | 1550   |
| Выходная<br>мощность,<br>мВт | 3-10   | 3-10   |
| Фототок,<br>мкА              | 40     | 40     |

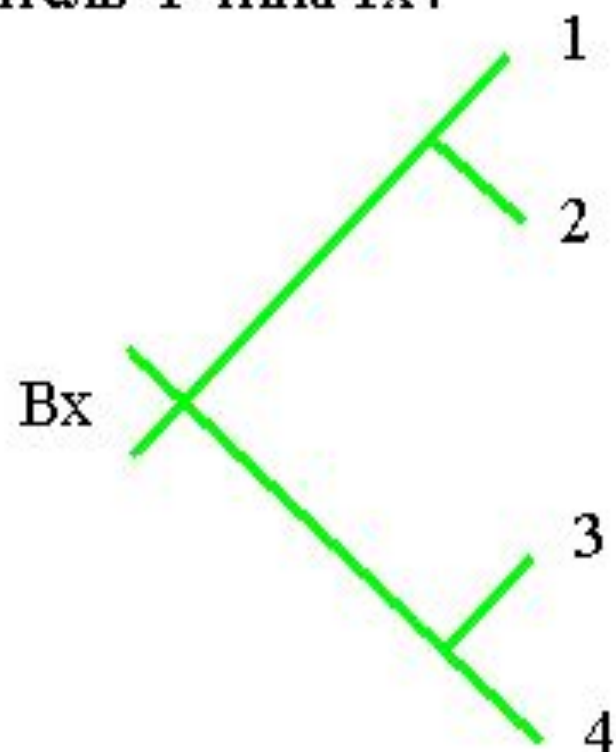
# Оптические разветвители

- Симметричные (X-образные), например ,  
простейший из них типа 2x2
- несимметричные (Y-образные),  
например, простейший из них типа 1x2

Разветвитель X-типа 2x2



Разветвитель Y-типа 1x4



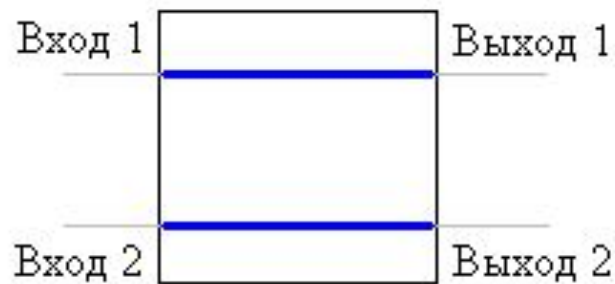
# Типы разветвителей

- Направленные и ненаправленные
- Спектрально-селективные и неселективные (нечувствительные к длине волн)

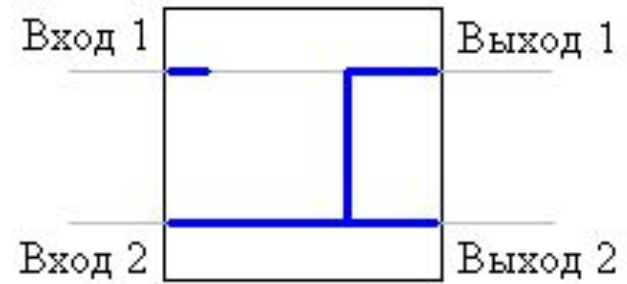


# Коммутаторы

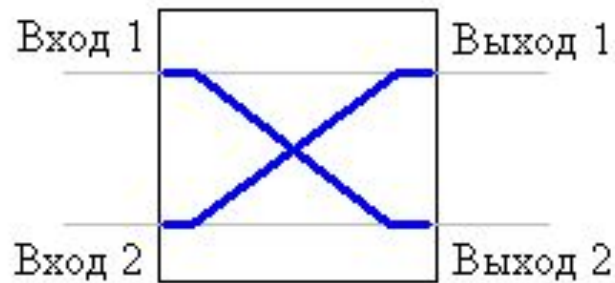
**Прямое соединение**



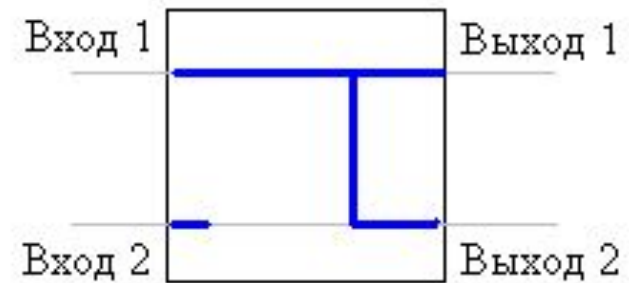
**Вещание с нижнего порта**



**Перекрестное соединение**



**Вещание с верхнего порта**



# Иерархия скоростей КОММУТАЦИИ

- Низкие-время переключения порядка  $10^{-3}$  с
- Средние- время переключения порядка  $10^{-6}$  с
- Высокие- время переключения порядка  $10^{-9}$  с
- Очень высокие- время переключения порядка  $10^{-12}$  с

# Для сравнения

- Оптический коммутатор 16x16 считается большим, хотя не идет ни в какое сравнение с электронными коммутаторами емкостью 2048x2048 каналов

# Характеристики оптических коммутаторов

- Коэффициент ослабления коммутируемого сигнала(на выходе в режиме «выключено» по сравнению в режимом «включено»)
- Вносимые потери-ослабление сигнала
- Переходное затухание коммутатора-отношение мощности на рабочем выходе к мощности на всех остальных
- Поляризационные потери коммутатора-ослабление, вызванное поляризацией

# Разновидности оптических коммутаторов

- Механические
- Электрооптические
- Термо-оптические
- Интегральные активно-волноводные
- на фотонных кристаллах
- На световодных жидкокристаллических матрицах
- На ИС с набором матриц оптоэлектронных вентилях

# Коммутационные сети – сеть Омега

