

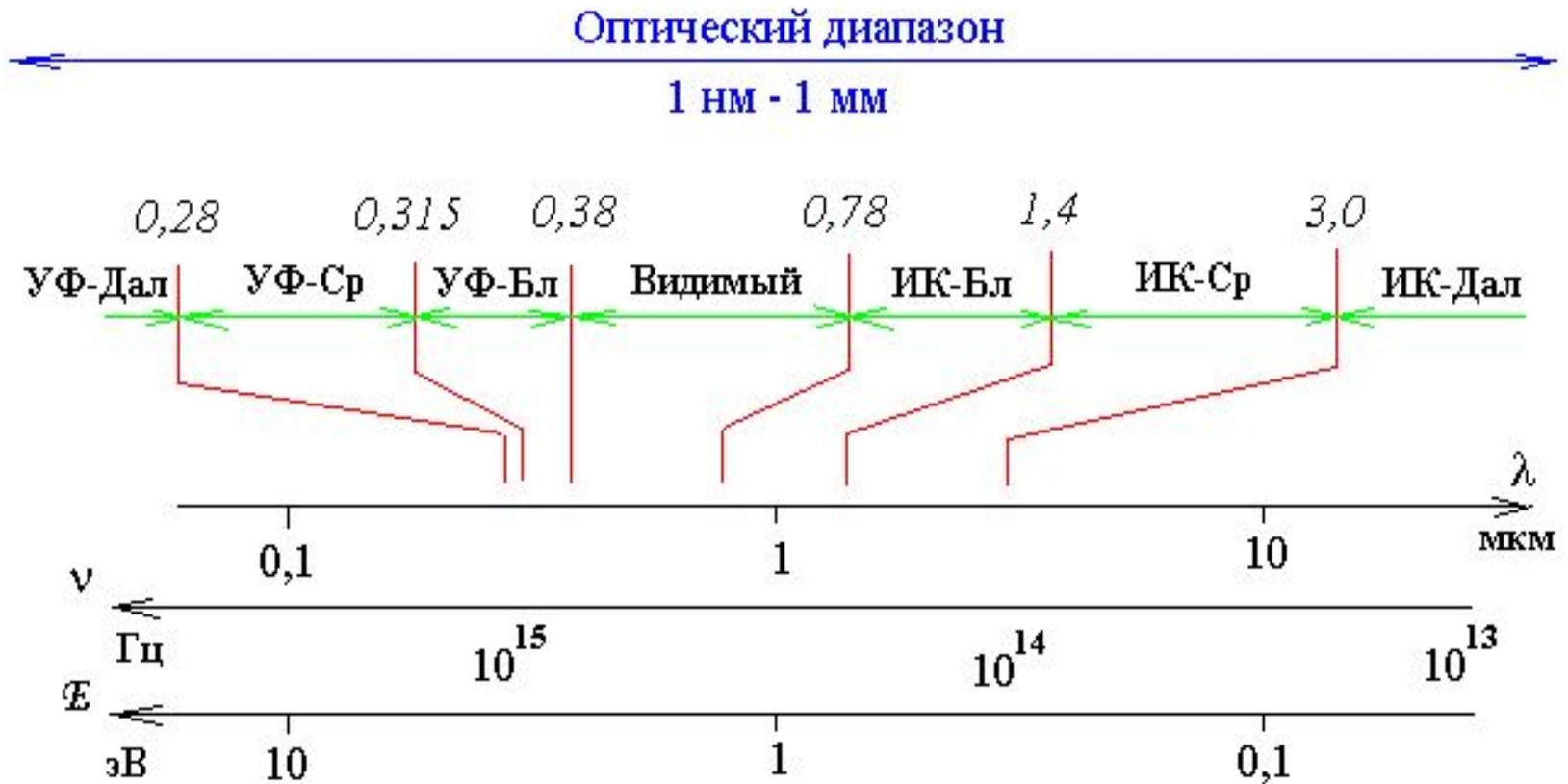
Оптические системы связи

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 λ 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 λ)
- 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/см²
- 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, см	Род работы	К.п.д., %	Мощность мВт
<i>He-Ne</i>	10	Непрерывный	0,1-0,01	0,1-10
<i>YAG:Nd</i>	1	Импульсный и непрерывный	1-2	10-10000
<i>GaAlAs</i>	0,1	Импульсный и 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 фотоэффект:
фоторезисторы, фототранзисторы, ПЗС
- На внешнем: фотоэлементы,
фотоумножители, электронно-
оптические преобразователи

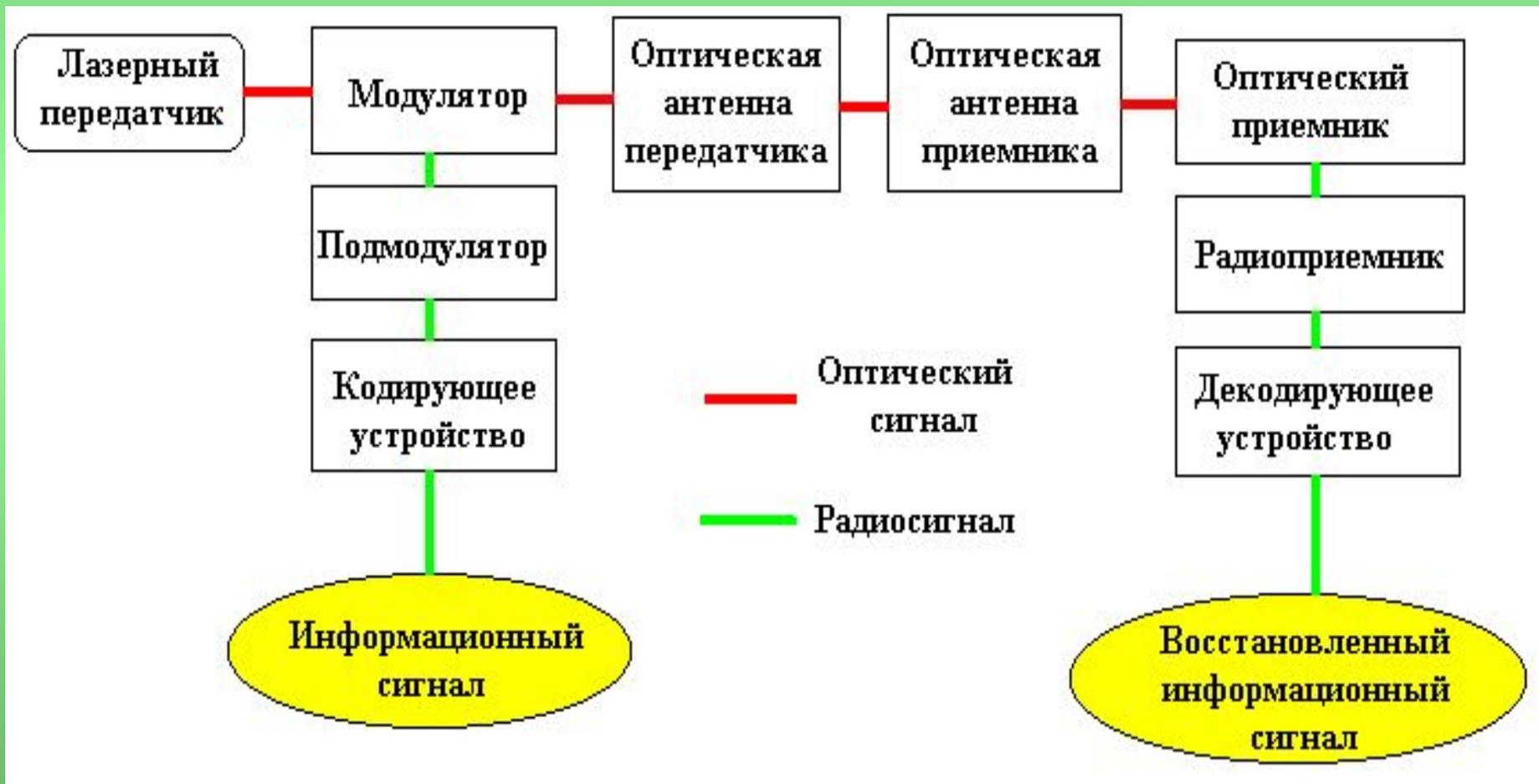
Распространение оптических СИГНАЛОВ

- 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

Тип	<i>Аналоговая</i>	<i>Цифровая</i>
<i>Параметр колебания несущей частоты</i>	Непрерывный	Квантованный и кодированный
<i>Пример</i>	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

Энергети-
ческий
уровень

Простран-
ственная
и времен-
ная
модуляция

Помехи
прямого и
обратного
рассеяния

Молекуляр-
ное и аэро-
зольное
рассеяние

Энергети-
ческие
потери

Временная
модуляция

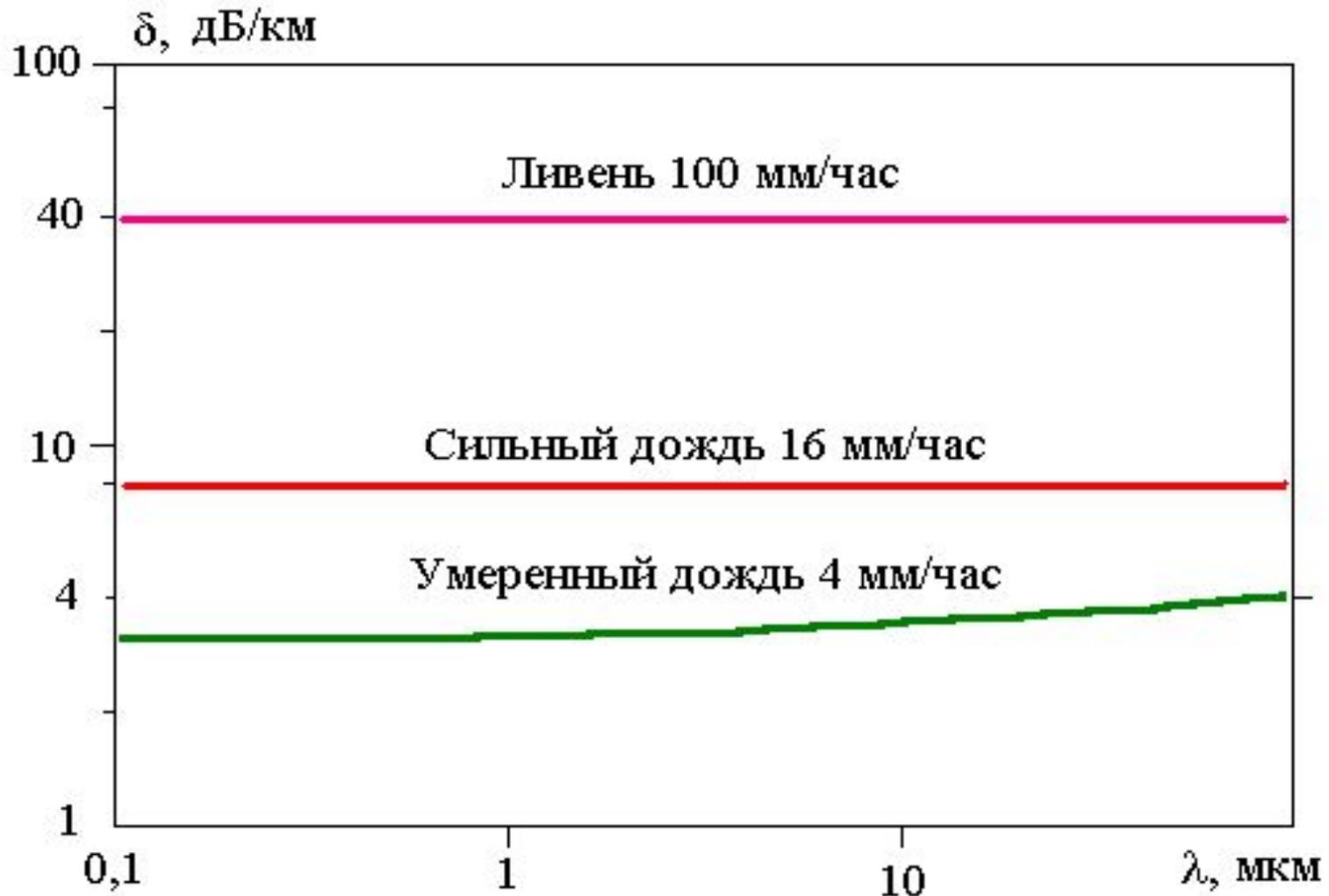
Простран-
ственная
модуляция

Молекулярное
поглощение

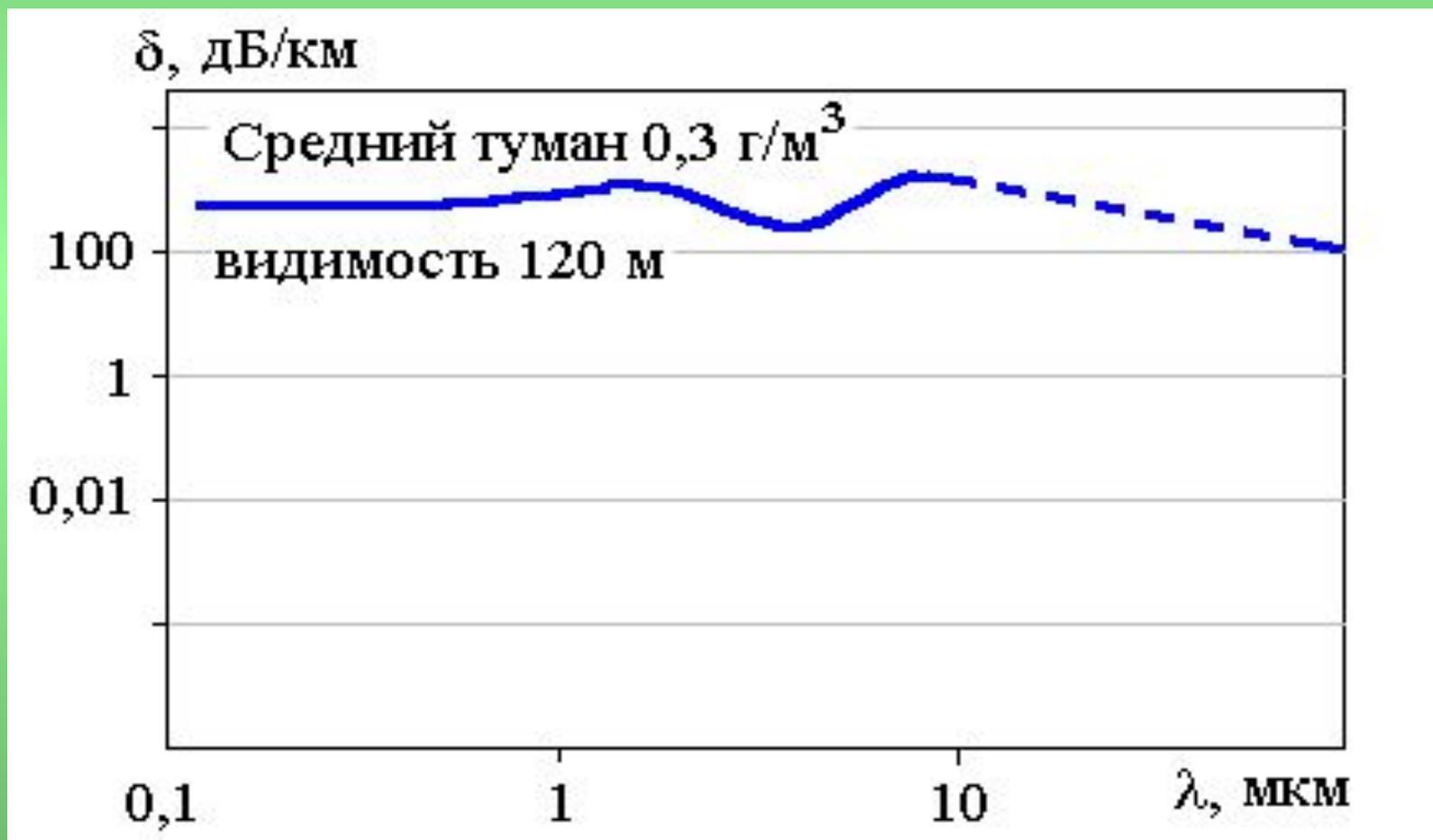
Рассеяние
турбулент-
ной атмос-
ферой

Рефракция

Сильное поглощение при дожде



Коэффициент поглощения в тумане



Волны оптического диапазона можно
применять только в окнах прозрачности
атмосферы

Границы окон прозрачности, мкм	Коэффициент прозрачности при прохождении через всю 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



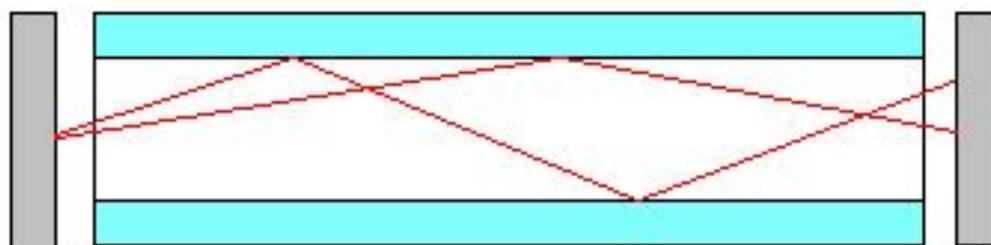
Для сравнения

- 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

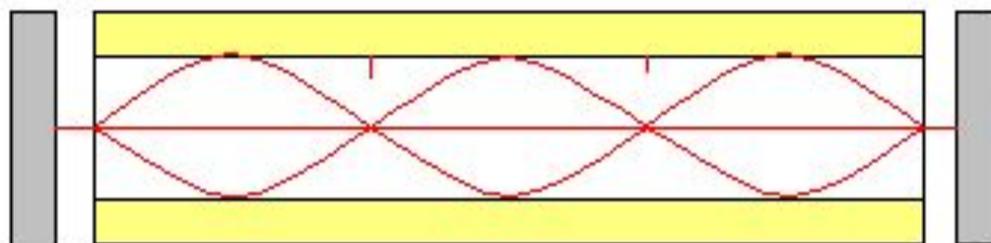
Основные достоинства

- 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

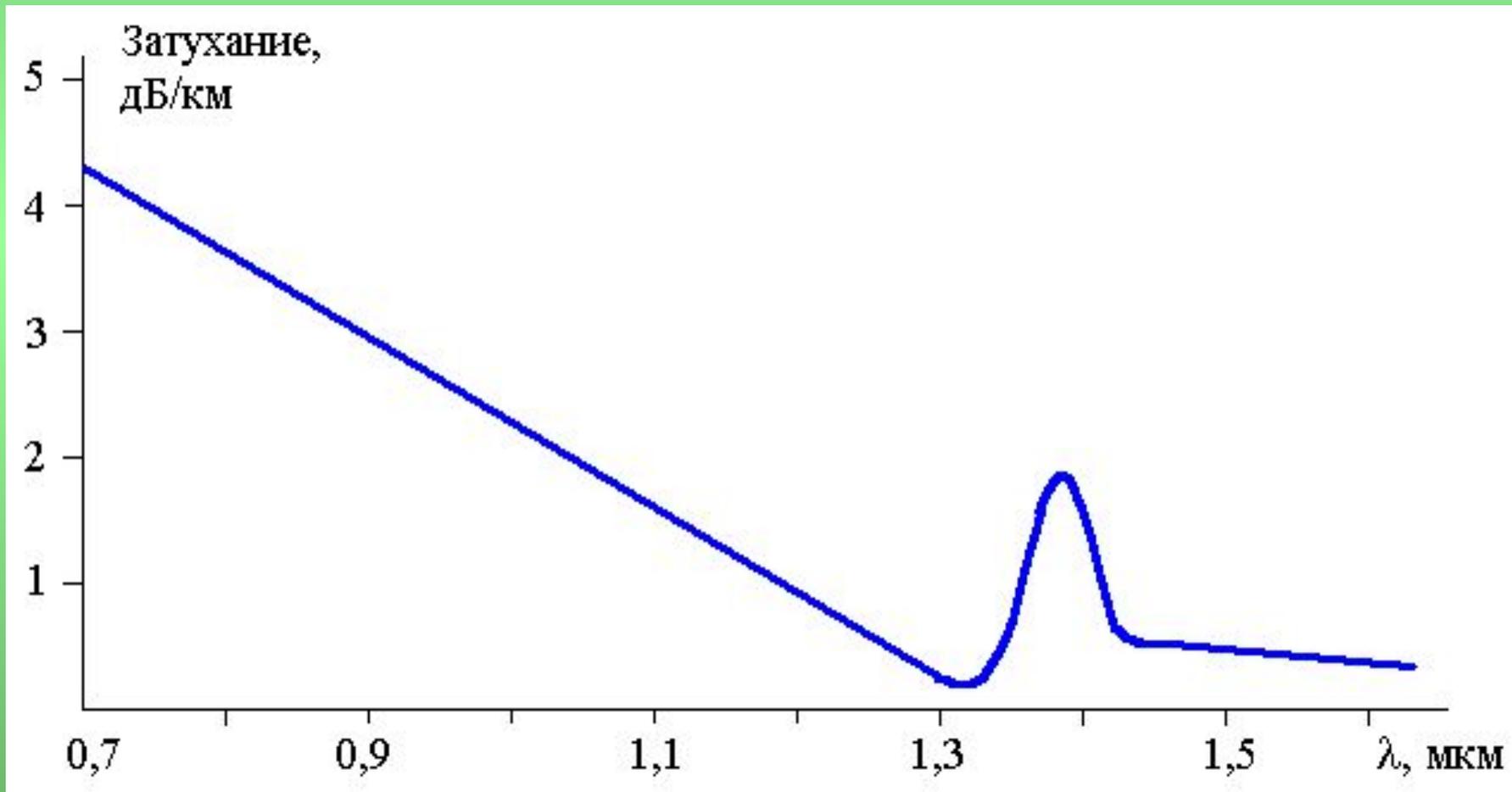
Волокно

Приемник
излучения

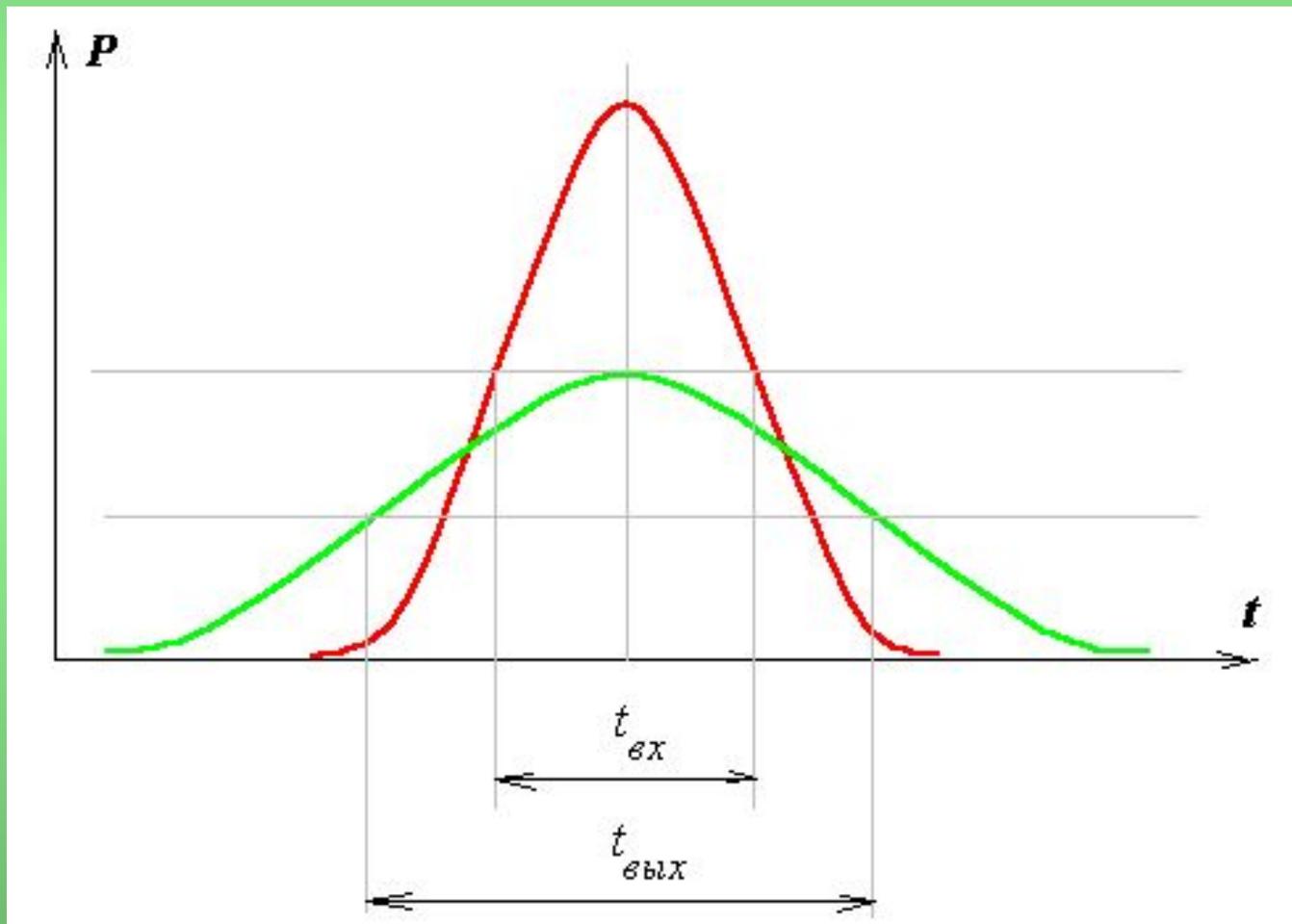
Передаточные характеристики ВОЛОКОН

- 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



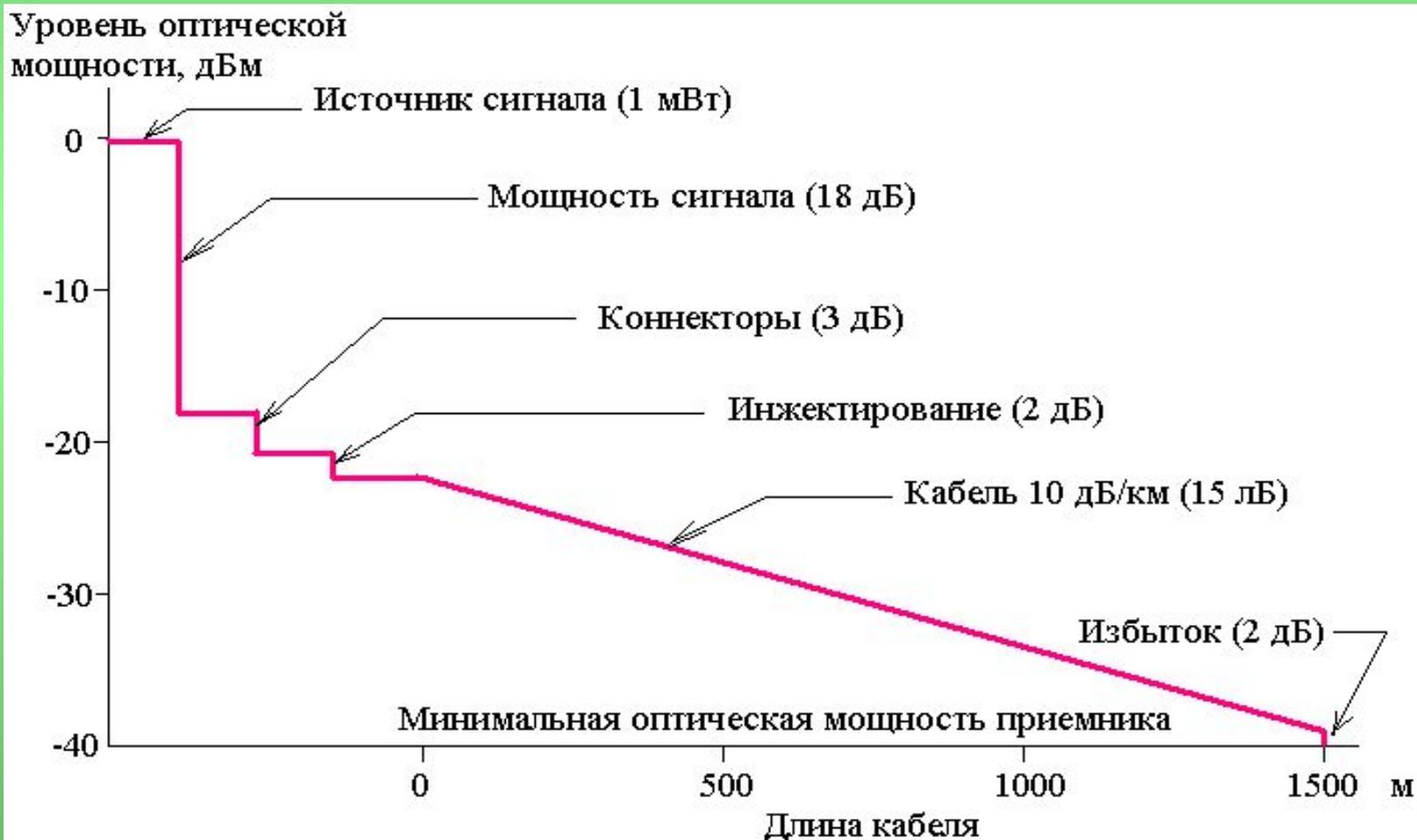
Характеристики оптических кабелей

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*

<i>SDH</i>	<i>SONET</i>	Скорость, <i>Мбит/с</i>
-	<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, ω_0 и φ_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 вносятся 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 λ_i и передаче полученного сигнала $\sum \lambda_i$ 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...)

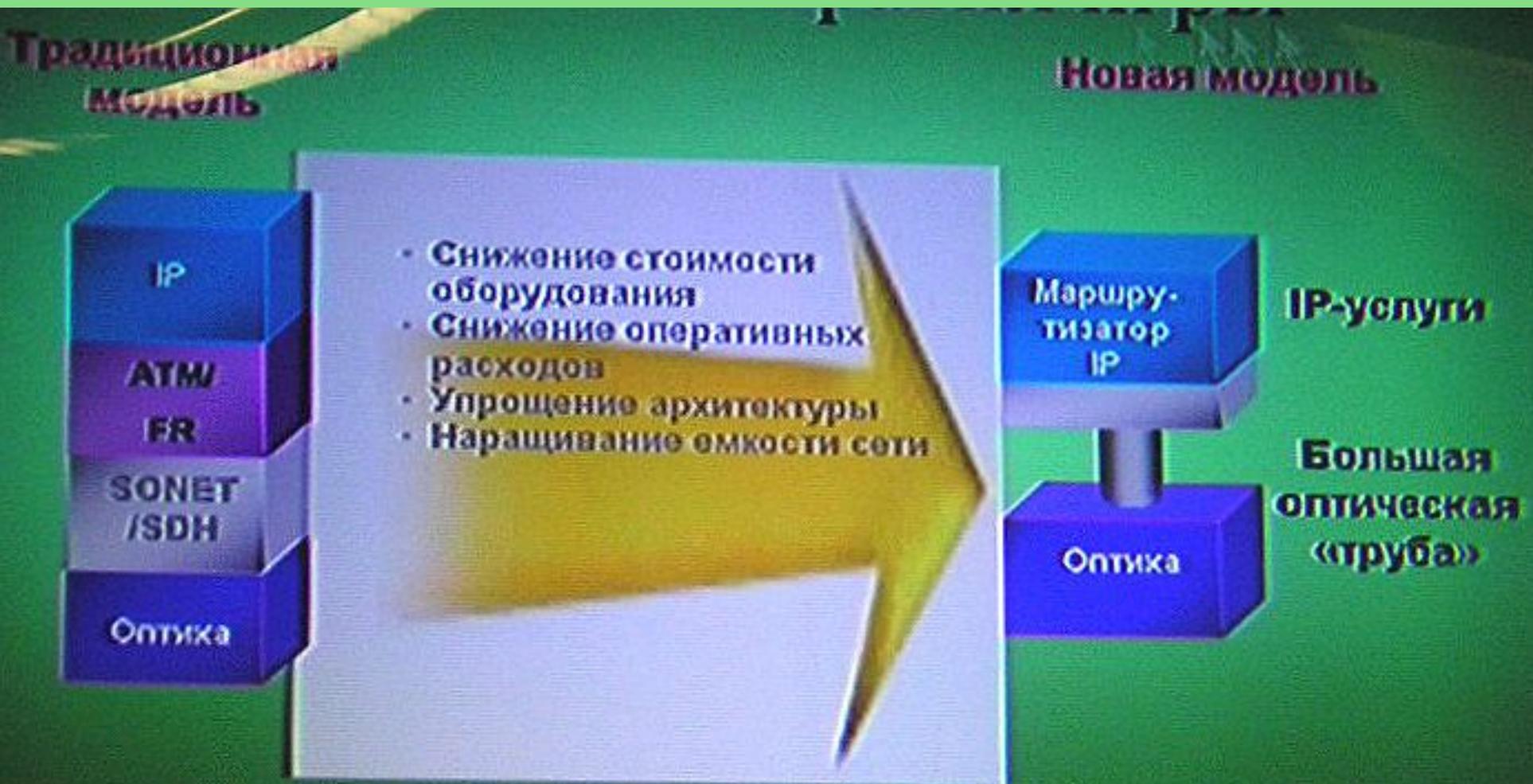
Модель взаимодействия транспортных технологий



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

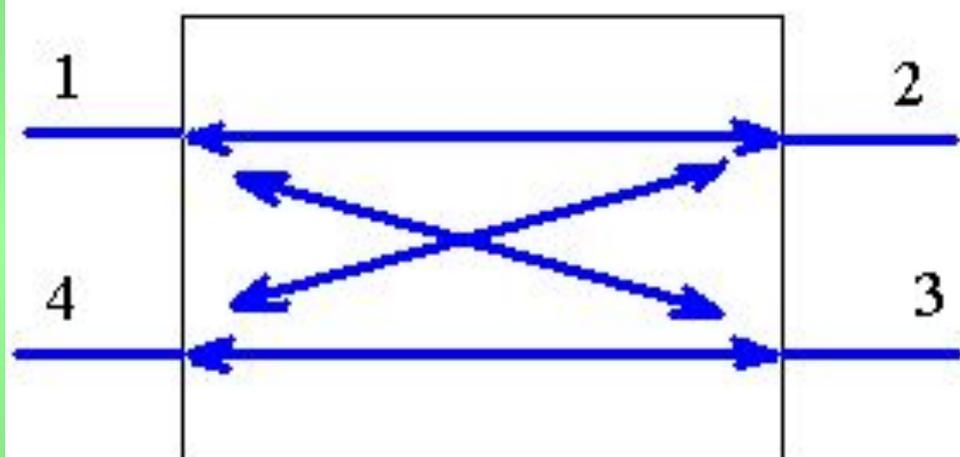
Параметры передающих оптических модулей

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

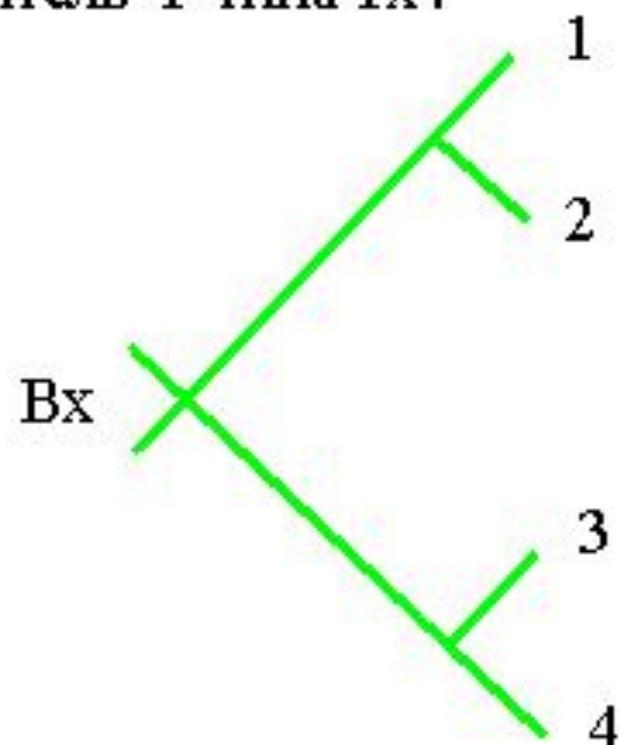
Оптические разветвители

- 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

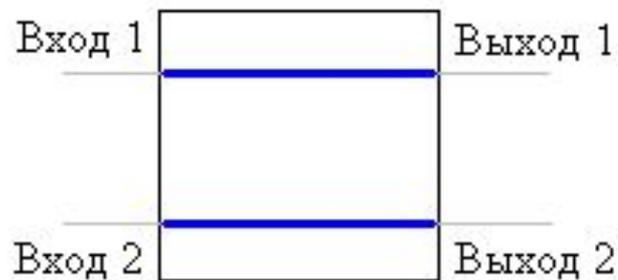


Типы разветвителей

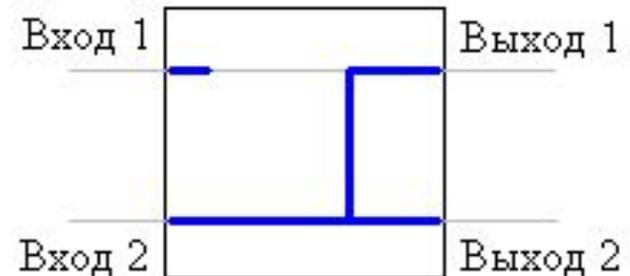
- Направленные и ненаправленные
- Спектрально-селективные и неселективные (нечувствительные к длине волн)

Коммутаторы

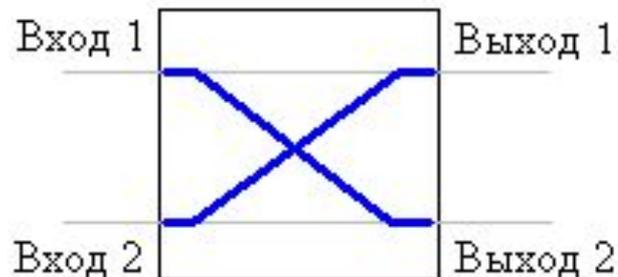
Прямое соединение



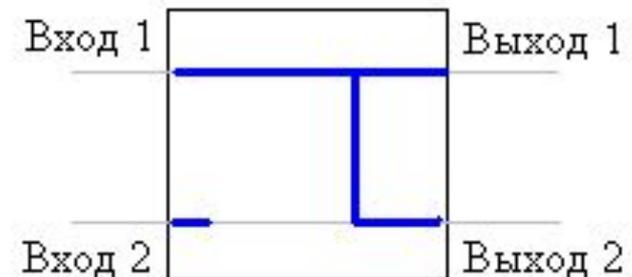
Вещание с нижнего порта



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 вентилей

Коммутационные сети – сеть Омега

