

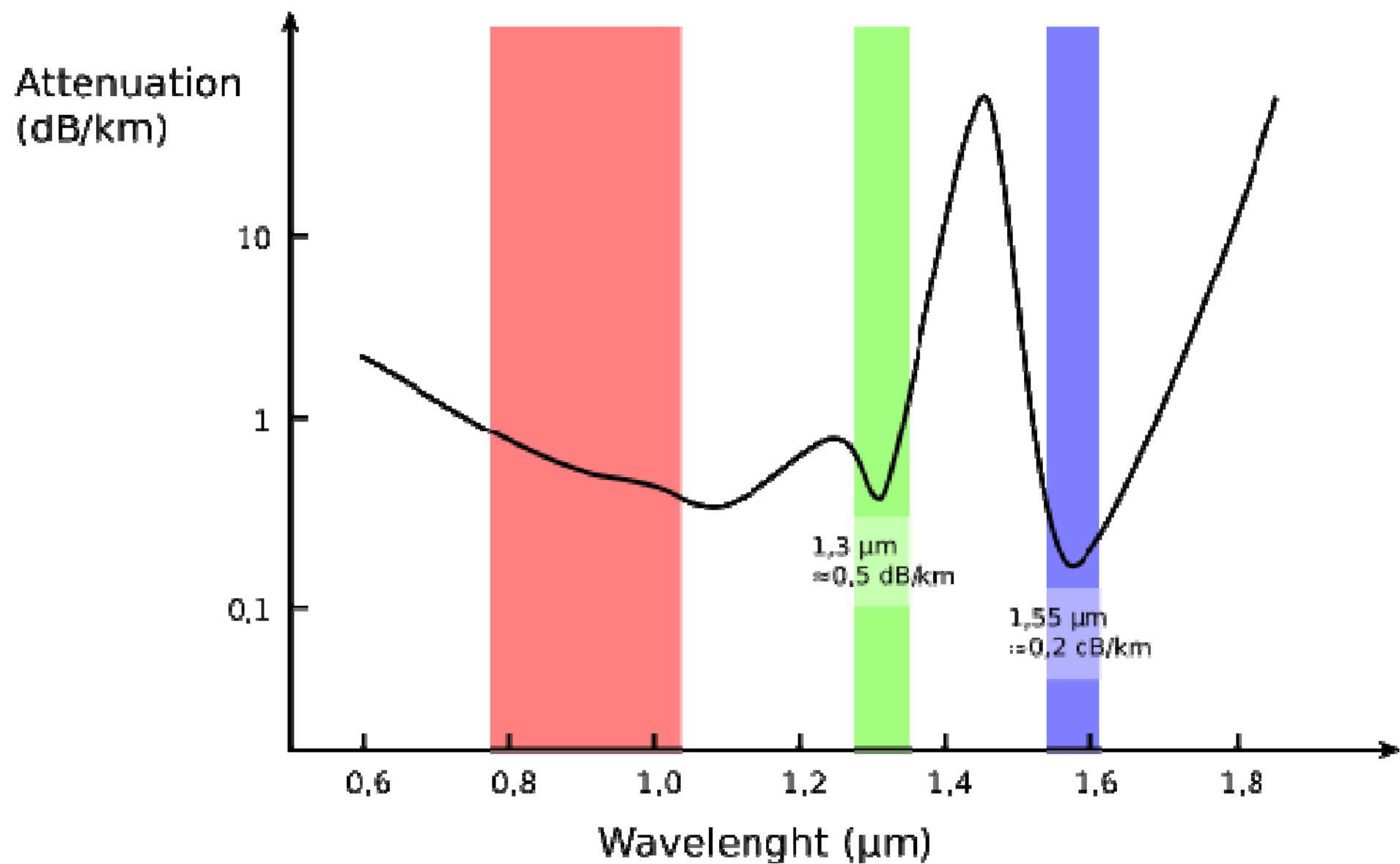
СОВРЕМЕННЫЕ ЛАЗЕРЫ: новые грани света

Лекция 12

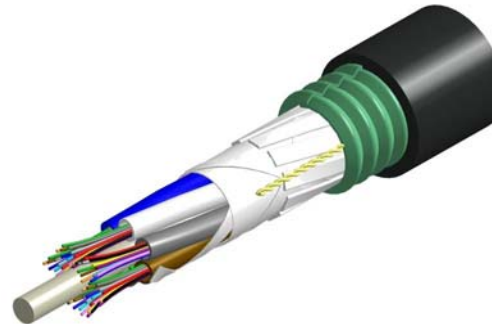
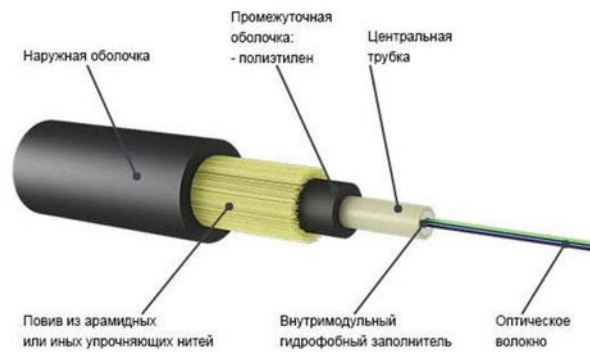
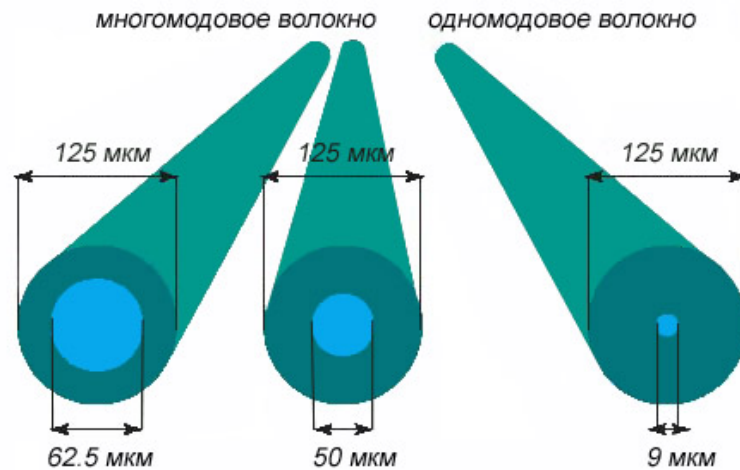
ЛАЗЕРЫ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Окна прозрачности оптических волокон. Дисперсия. Распространение лазерных импульсов. Структура волоконно-оптического канала связи. Источники для волоконных линий связи. Оптические усилители для линий связи. Детекторы фотонов для ВОЛС. Спектральное и поляризационное уплотнение. Мультиплексирование. Эволюция волоконно-оптических систем связи. Современные системы WDM.

Окна прозрачности кварцевых волокон



Структура одиночных оптических волокон и волоконно-оптических кабелей



Структура волоконно-оптического канала связи



Схема оптической волоконной системы связи

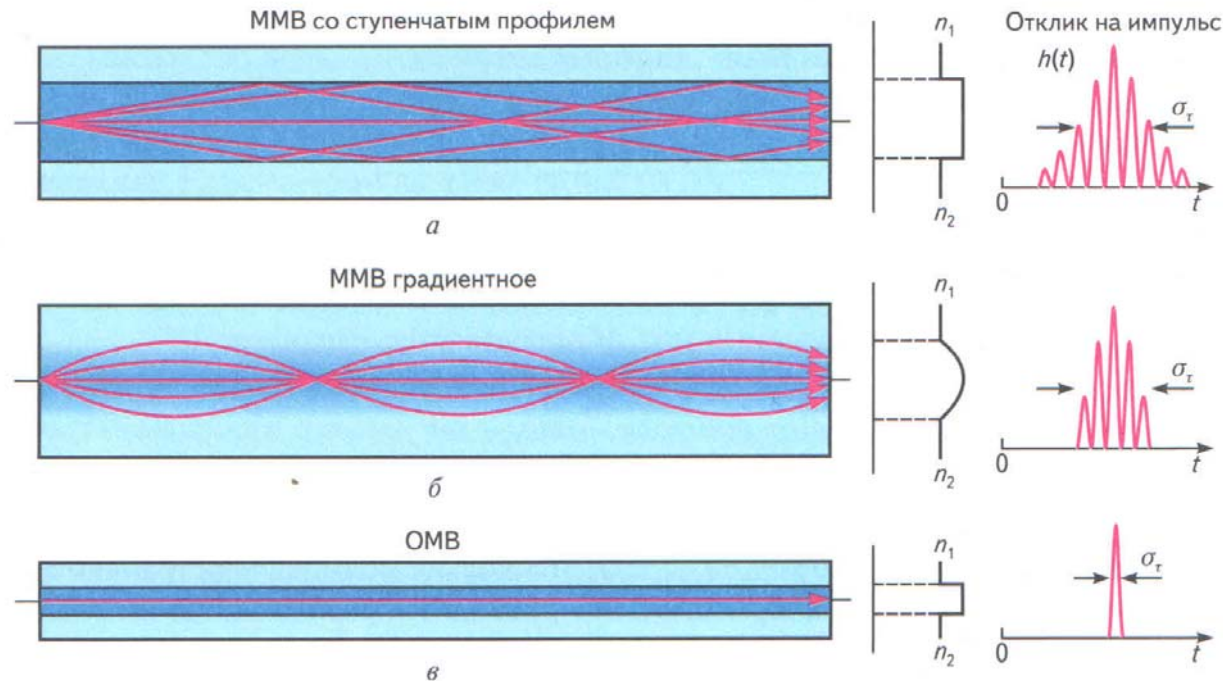
В передатчике происходит преобразование электрического сигнала в оптический за счет модуляции излучения источника

Оптический сигнал распространяется по волокну к приемному устройству

В приемнике осуществляется обратное преобразование оптического сигнала в электрический

В случае большого расстояния необходим усилитель-ретранслятор

Характер временного отклика одномодовых и многомодовых волокон



Короткий оптический импульс со спектральной шириной σ_λ расплывается до временной ширины

$$\sigma_{\text{вол}} = |D| \sigma_\lambda L$$

$$D = D_\lambda + D_w$$

Для ОМВ коэффициент дисперсии:

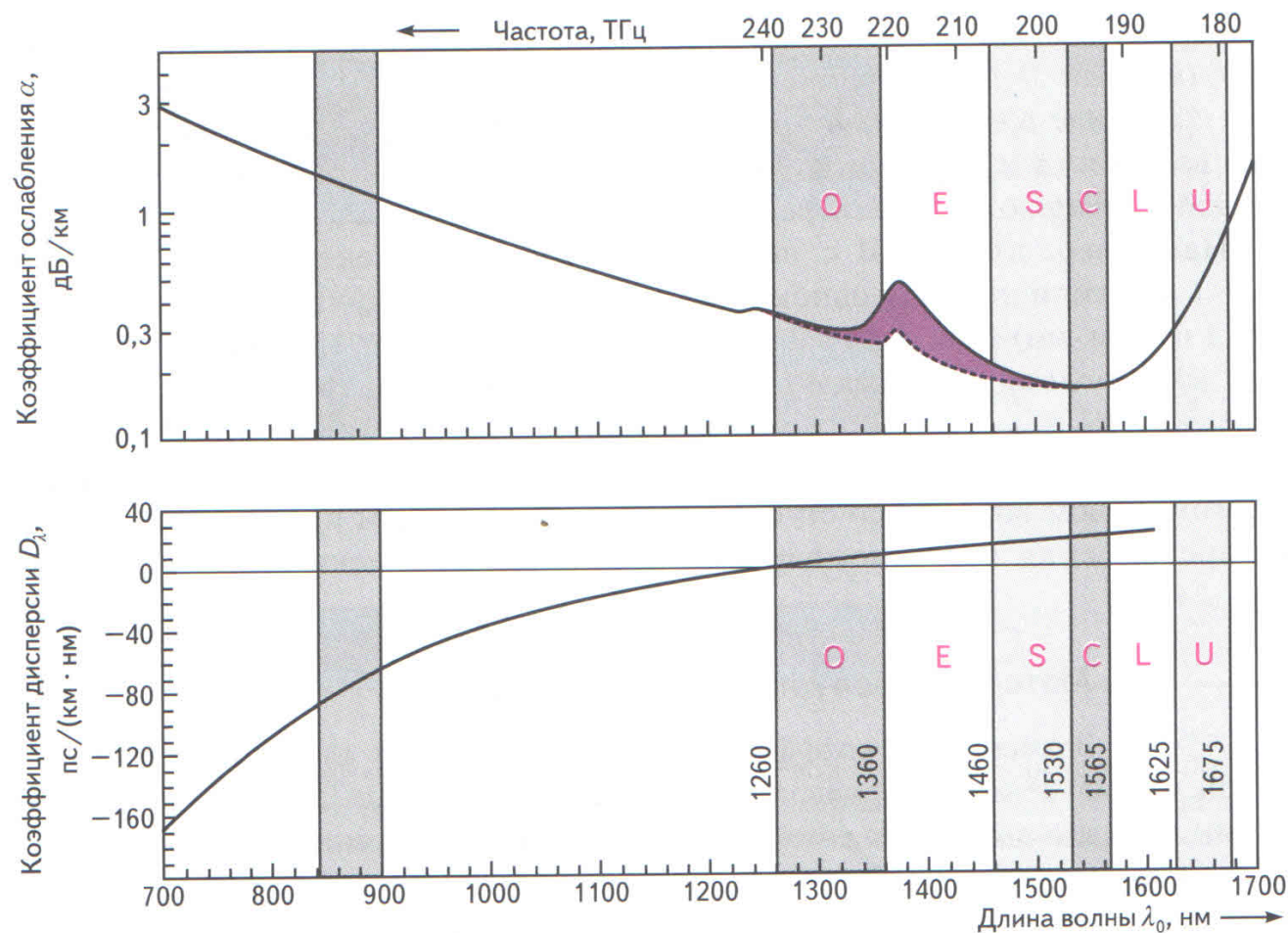
$$D = 1 \text{ пс}/(\text{км} \cdot \text{нм})$$

Многомодовое градиентное волокно поддерживает меньшее число мод по сравнению с ММВ ступенчатого профиля

Расплывание импульса во времени в градиентном ММВ меньше по сравнению с ММВ ступенчатого профиля

В ОМВ нет модовой дисперсии. Расплывание идет только за счет материальной и волноводной дисперсии

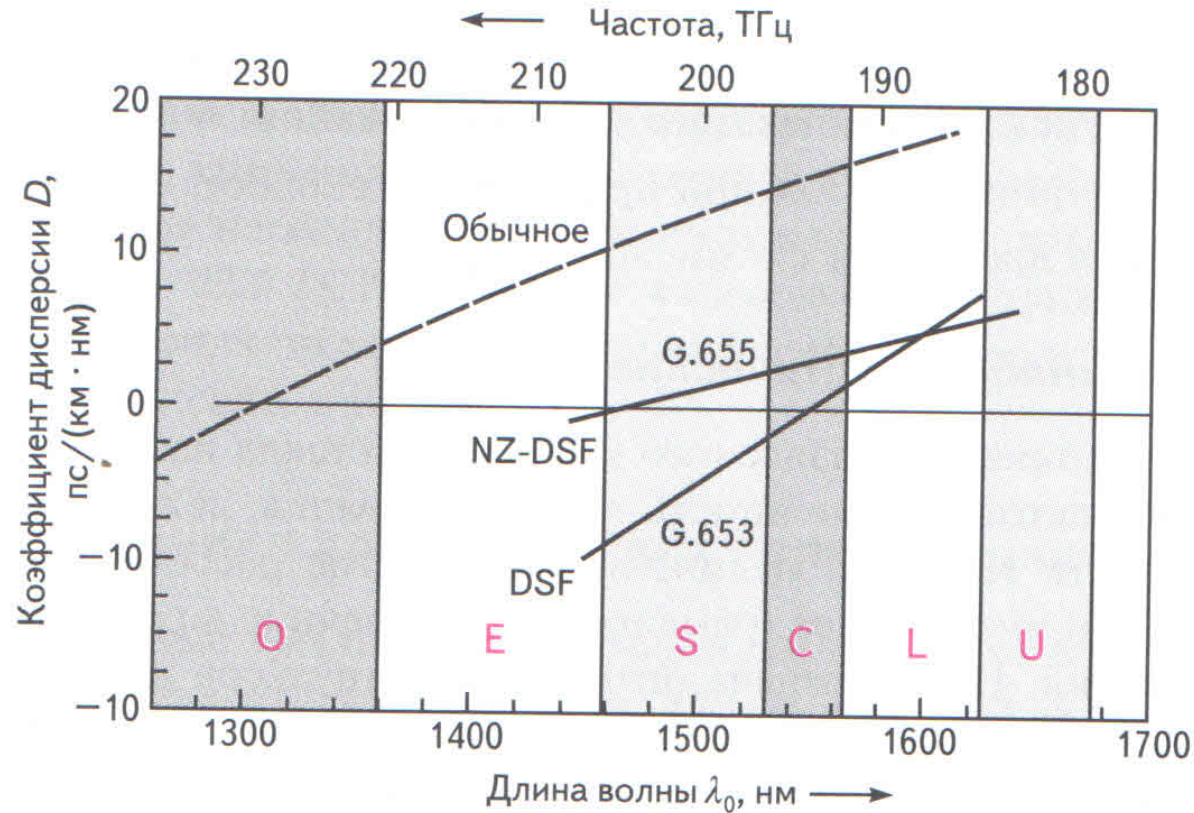
Ослабление и коэффициент материальной дисперсии современных кварцевых волокон



Штриховая линия указывает уровень подавленного поглощения групп ОН. Отмечены полосы: О-оригинальная, Е-расширенная (extended), S-коротковолновая, С-стандартная, L-длинноволновая, ультрадлинноволновая.

Волокна со смещенной дисперсией

За счет внедрения примесей области слабой дисперсии смещаются ближе к рабочим диапазонам длин волн



DSF – волокна со смещенной дисперсией, D исчезает при 1550 нм

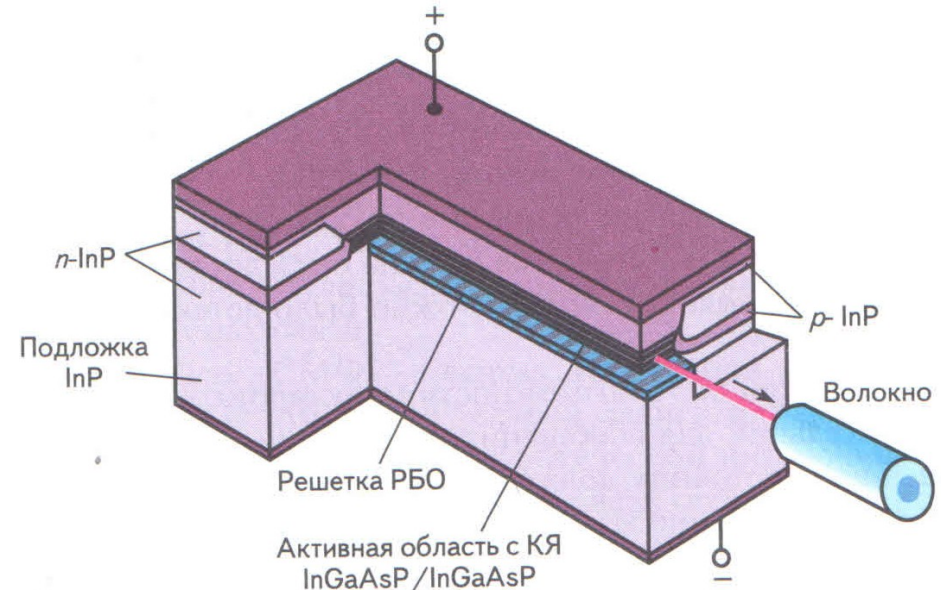
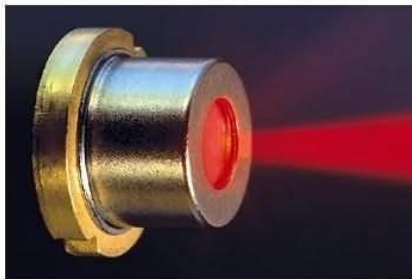
NZ-DSF – волокна с ненулевой смещенной дисперсией, коэффициент D понижен в области длин волн 1500-1600 нм, но не равен 0 (чтобы уменьшить последствия нелинейных эффектов для коротких импульсов)

Также создаются волокна с другими специально подобранными характеристиками

Источники света для оптических систем связи

Основные характеристики:

- **мощность**, достаточная для детектирования с требуемой точностью;
- **быстродействие**, обеспечивающее требуемую частоту модуляции;
- **ширина линии**, достаточно узкая, чтобы минимизировать влияние хроматической дисперсии;
- малый **шум**, особенно для когерентных систем;
- прочность, нечувствительность к внешним условиям, надежность, стоимость, длительный срок службы



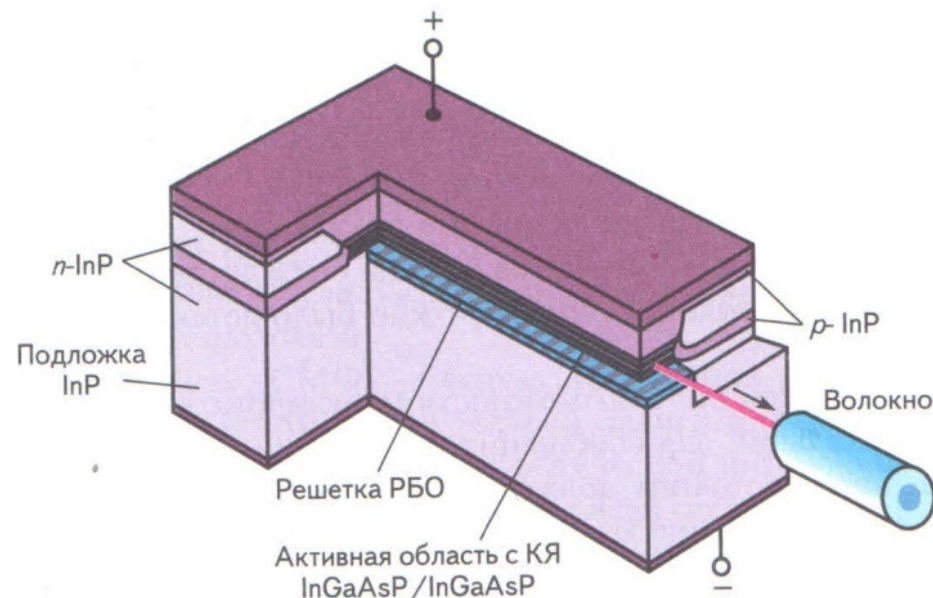
Лазер для ВОЛС с распределенной обратной связью и скрытой гетероструктурой. Мощность порядка 1Вт в одной пространственной моде.

СИД (светоизлучающие диоды)

сравнительно малой мощности (до 0.5 мВт) с большой (около 20-30 нм) шириной спектра излучения используются как правило низкоскоростных (< 10 Мбит/с) линиях связи небольшой (0.1-1.0 км) длины для локальных и местных сетей на основе ММВ. В одномодовое волокно немохроматическое излучение СИД направить сложно

Лазер – источник света для передачи по одномодовым волокнам

Наиболее распространены лазеры на гетероструктурах, лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры) и лазеры на квантоворазмерных структурах (КРС-лазеры)



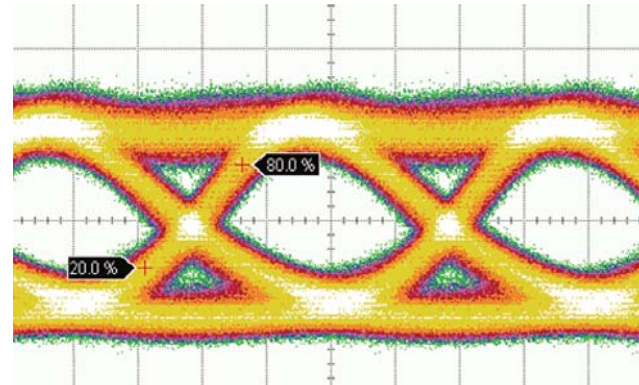
Применяемые лазеры обычно работают в **окнах прозрачности** кварцевого волокна:

0.82 - 0.90 мкм, 1.30 - 1.33 мкм и ~ 1.55 мкм

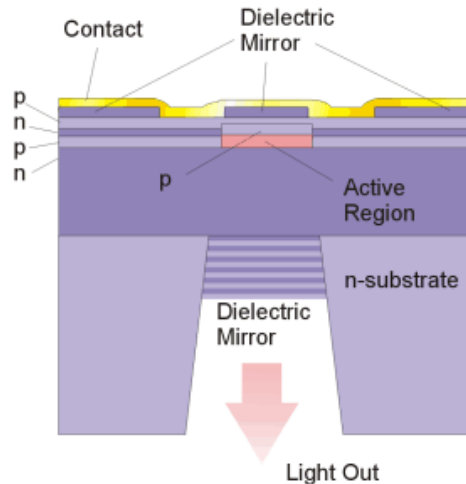
Мощность излучения 1 - 5 мВт и ее увеличение нецелесообразно, т.к. срок службы лазеров резко падает. Ширина спектра излучения около 0.1 нм при уровне боковых частот ниже 20 дБ. В одночастотных лазерах, полуширина спектра генерации может быть 500 МГц и менее

Лазер – источник света для передачи по одномодовым волокнам

Частота модуляции для современных коммерческих скоростных лазеров составляет от нескольких десятков - сотен МГц до 1.5 - 2.5 ГГц. Достигнута скорость передачи сигналов свыше 25 Гбит/с



«Глаз-диаграмма» на скорости 25 Гбит/с

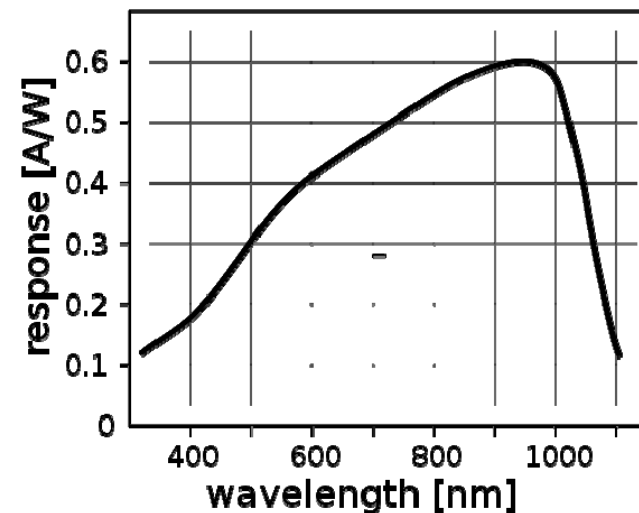
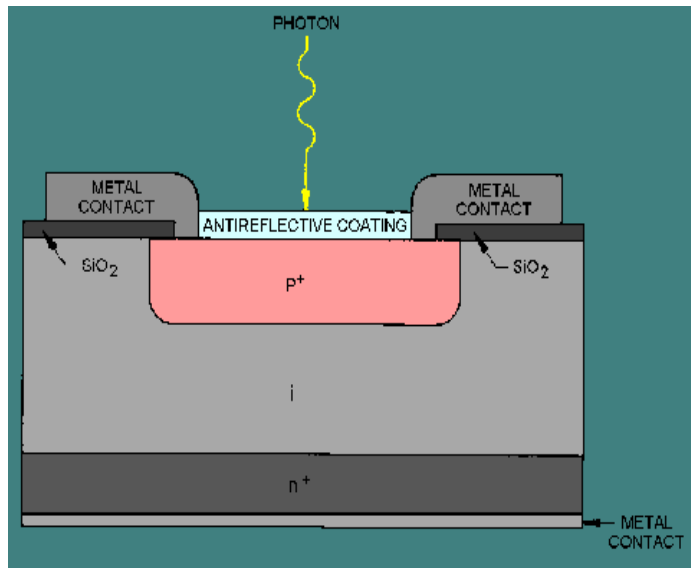


Полупроводниковый лазер с вертикальным резонатором

Большие надежды возлагаются на лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL, vertical-cavity surface-emitting lasers). В таких лазерах генерируется одна продольная мода диаметром 20-30 мкм. Прикладывая электрическое поле удается осуществлять плавную перестройку длины волны генерации в полосе 1530-1560 нм для спектрального мультиплексирования

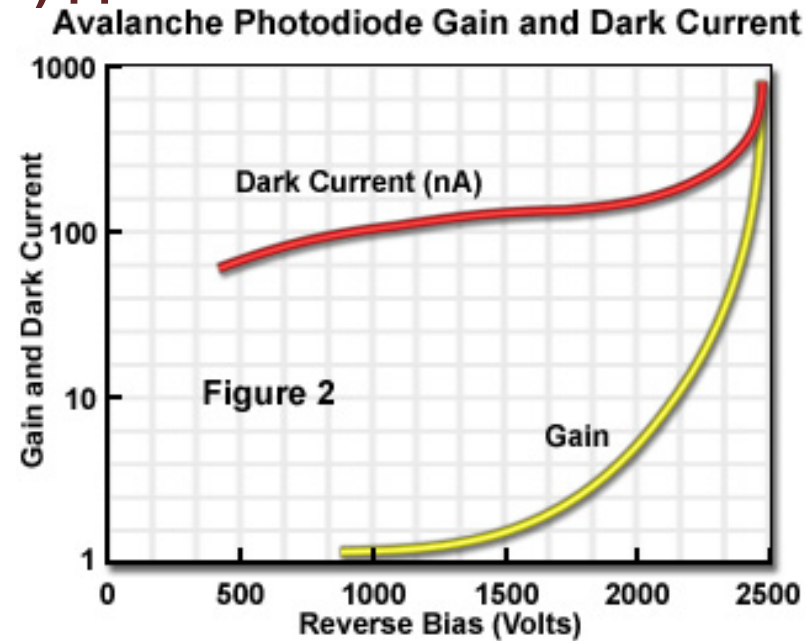
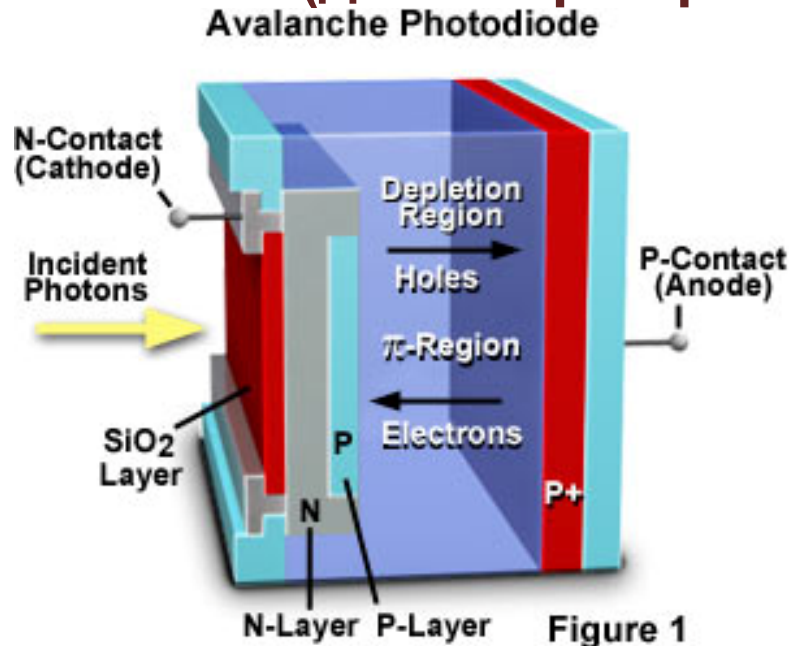
Приемники (детекторы фотонов) для ВОЛС

pin-фотодиод - структура из p- и n-полупроводников, разделенная сравнительно протяженной i (intrinsic) -областью. При поглощении кванта в i-области образуется электрон и дырка. Во внешнем поле они дрейфуют, создавая ток в замкнутой цепи фотоприемника. Спектральная чувствительность определяется типом структуры, при этом красная граница фотоэффекта составляет ~ 0.9 мкм для GaAs, 1.1 мкм для Si и 1.7 мкм для Ge. Временные характеристики определяются толщиной i-слоя, скоростью дрейфа и собственной емкостью. Время нарастания может достигать 10 -100 пс



Si pin-фотодиод и его спектральная чувствительность

Приемники (детекторы фотонов) для ВОЛС



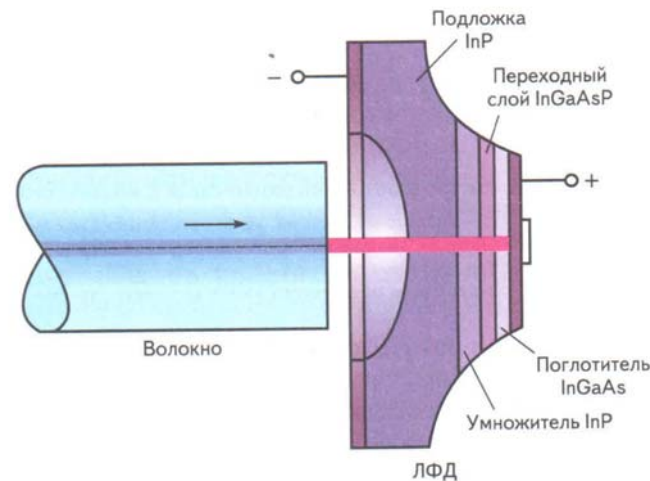
Структура, усиление и темновой ток (шум) лавинного фотодиода

Лавинный фотодиод - полупроводниковый фотоприемник с внутренним усилением фототока. Между областью поглощения света (р-областью) и n-областью полупроводниковой р-n структуры расположен дополнительный р (р) -слой. При высоком напряжении обратного смещения носители в р-области приобретают кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации атомов решетки. Благодаря большой ($\sim 10^5$ В/см) напряженности электрического поля первичная электронно-дырочная пара создает сотни вторичных пар, что увеличивает фототок. Полоса рабочих частот достигает 80 ГГц, а основной недостаток - большие шумы

Детекторы фотонов для ВОЛС

В области 870 нм: кремниевые p-i-n-фотодиоды и лавинные фотодиоды

В области 1300-1600 нм (кремний в этой области спектра прозрачен и не может использоваться): p-i-n-фотодиоды из **InGaAs** и **Ge**, лавинные фотодиоды из **InGaAs**

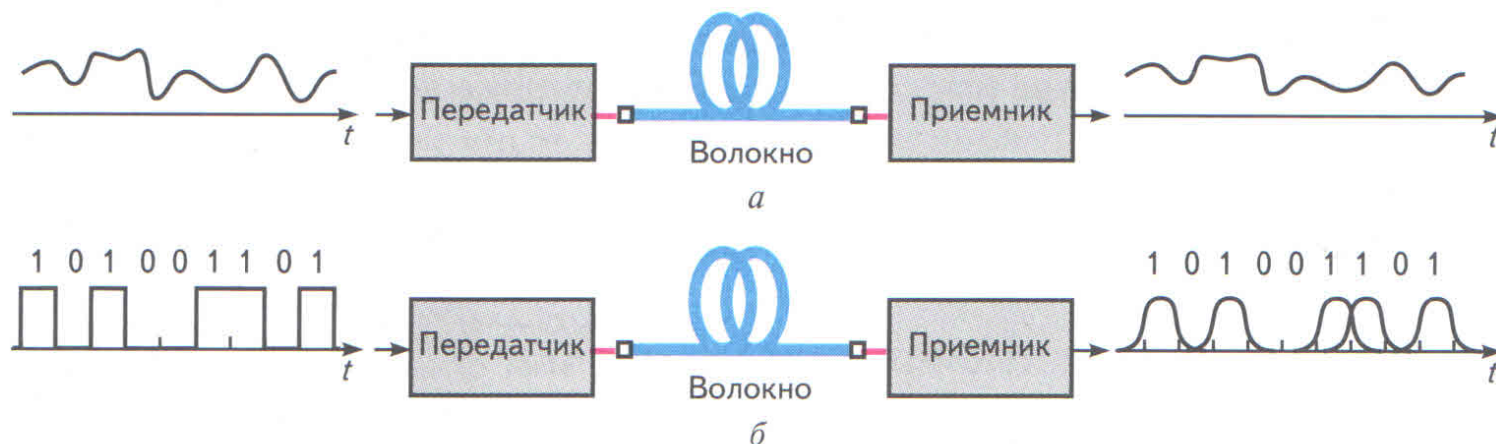


Структура ЛФД

Оптические усилители для линий связи

- Волоконные усилители, легированные эрбием (**EDFA**)
- Волоконные усилители (**REFA**) на отличных от эрбия ионах редкоземельных элементов Pr^{3+} , Tm^{3+} , Nd^{3+} , покрывающие полосы усиления O/E/S/U
- Волоконные ВКР(рамановские) усилители (**RFA**)
- Полупроводниковые оптические усилители (**DLA**) – компактны и совместимы с интегральными оптоэлектронными схемами, но трудно совместимы с геометрией волокна
- Оптические параметрические усилители (**OPA**)

Волоконно-оптические системы связи



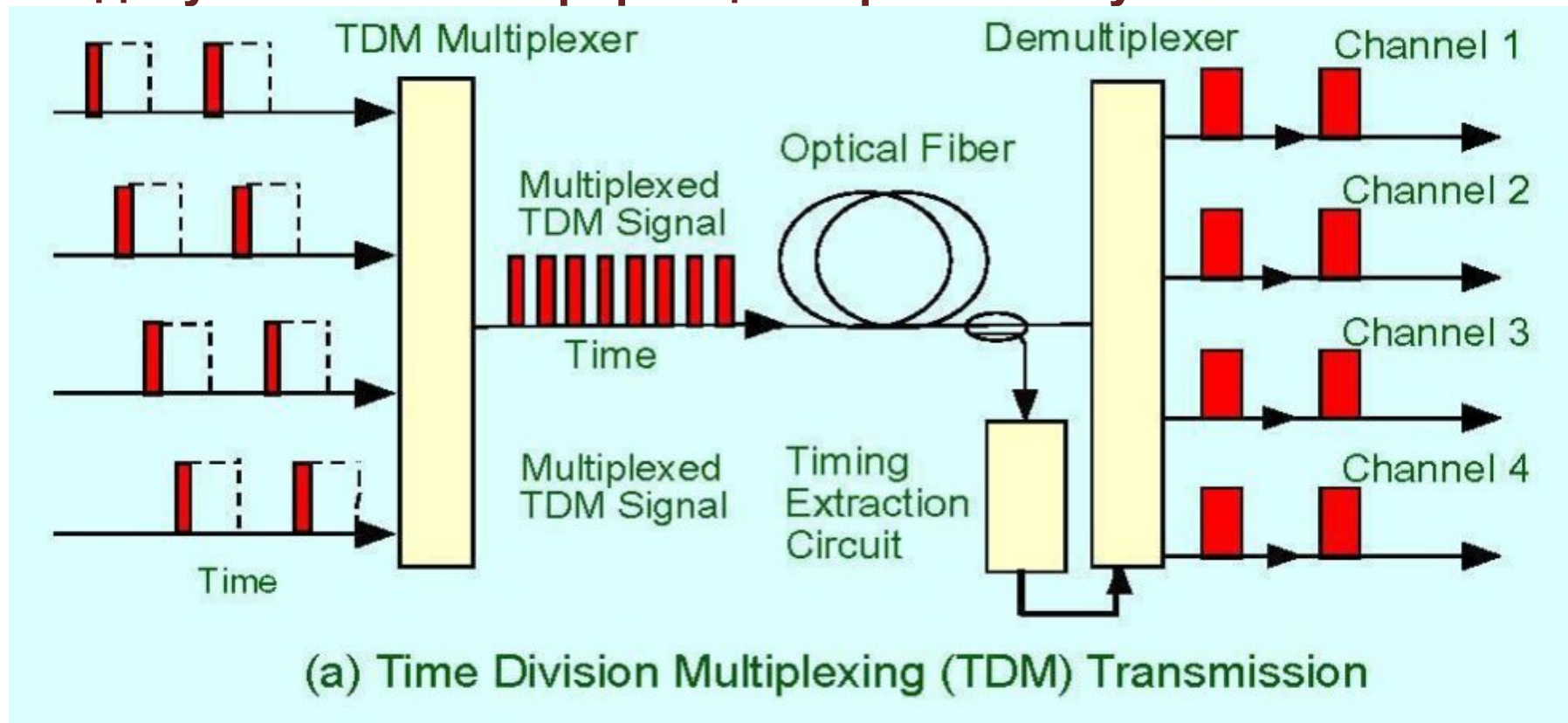
Аналоговая и цифровая системы связи с модуляцией интенсивности

Необходимость уплотнения потока информации

Основными методами увеличения скорости передачи информации в оптоволоконных линиях связи являются:

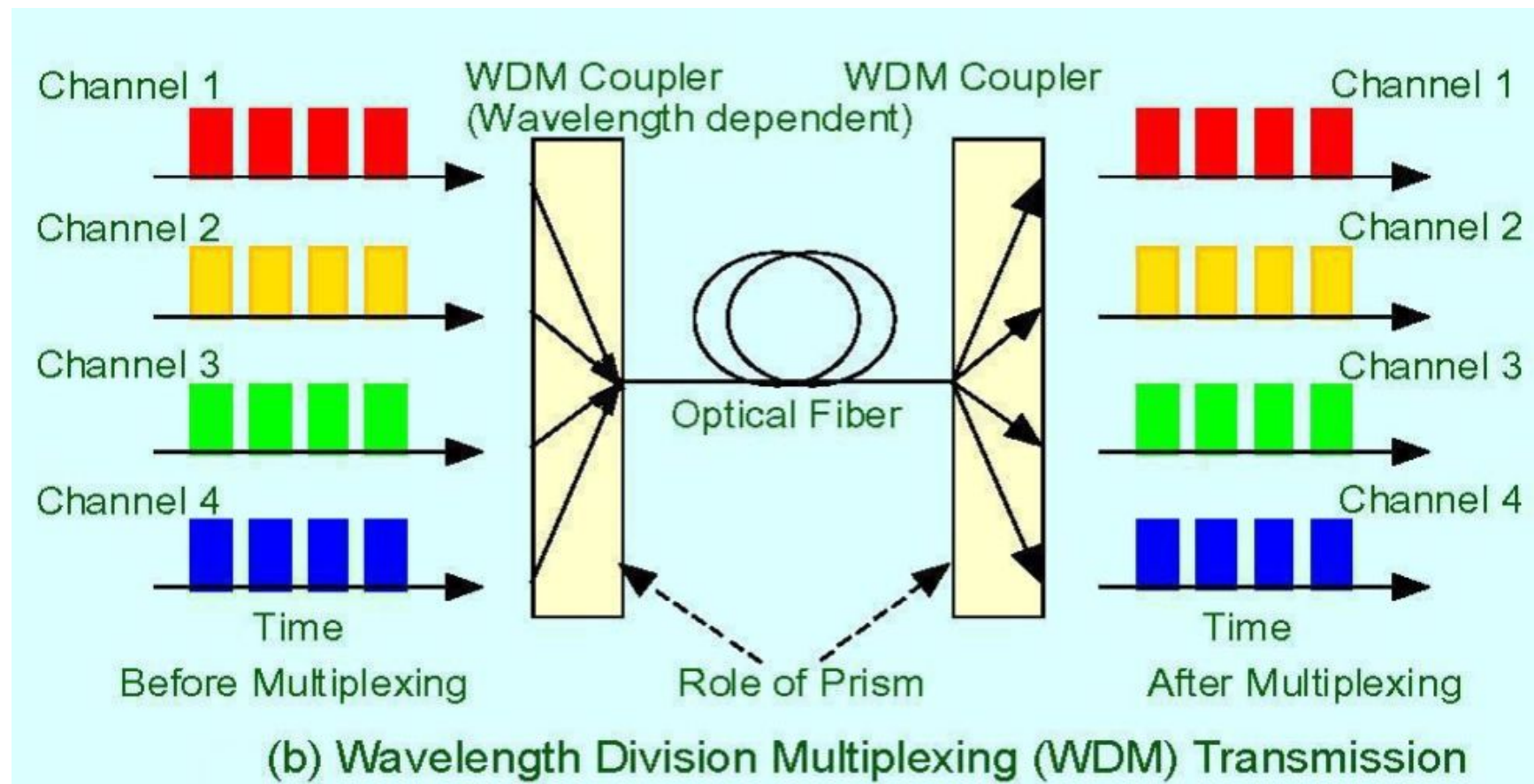
- временное уплотнение,
- пространственное уплотнение,
- спектральное уплотнение,
- модовое уплотнение

Методы уплотнения информации: временное уплотнение



Временное уплотнение (TDM) - увеличение частоты передачи сигналов, т.е. использование при передаче (в цифровом режиме кодирования) импульсных сигналов минимальной длительности и скважности. На сегодня в режиме модуляции тока накачки полупроводниковых излучателей достигнута скорость передачи информации около 30 Гбит/с. При использовании внешних модуляторов максимальная частота модуляции достигает нескольких сотен Гбит/с.

Методы уплотнения информации: спектральное уплотнение



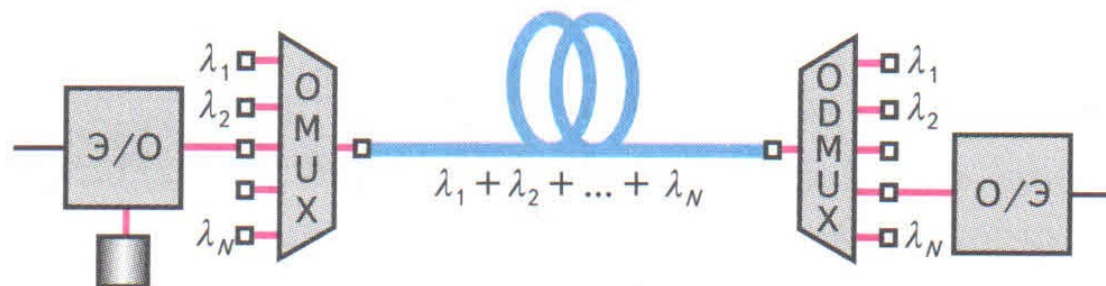
Спектральное уплотнение (WDM) - одновременная передача по одножильному кабелю нескольких сигналов с разными длинами волн несущих. В пределах полосы прозрачности волокна можно разместить несколько информационных сигналов и тем самым увеличить пропускную способность линии связи

Методы уплотнения информации: пространственное уплотнение



Пространственное уплотнение - увеличение числа волокон в многожильном кабеле (144 волокна и более). Увеличение числа волокон многократно увеличивает пропускную способность, но резко осложняет проблему соединения таких кабелей.

Структура и скорость передачи ВОЛС на основе WDM

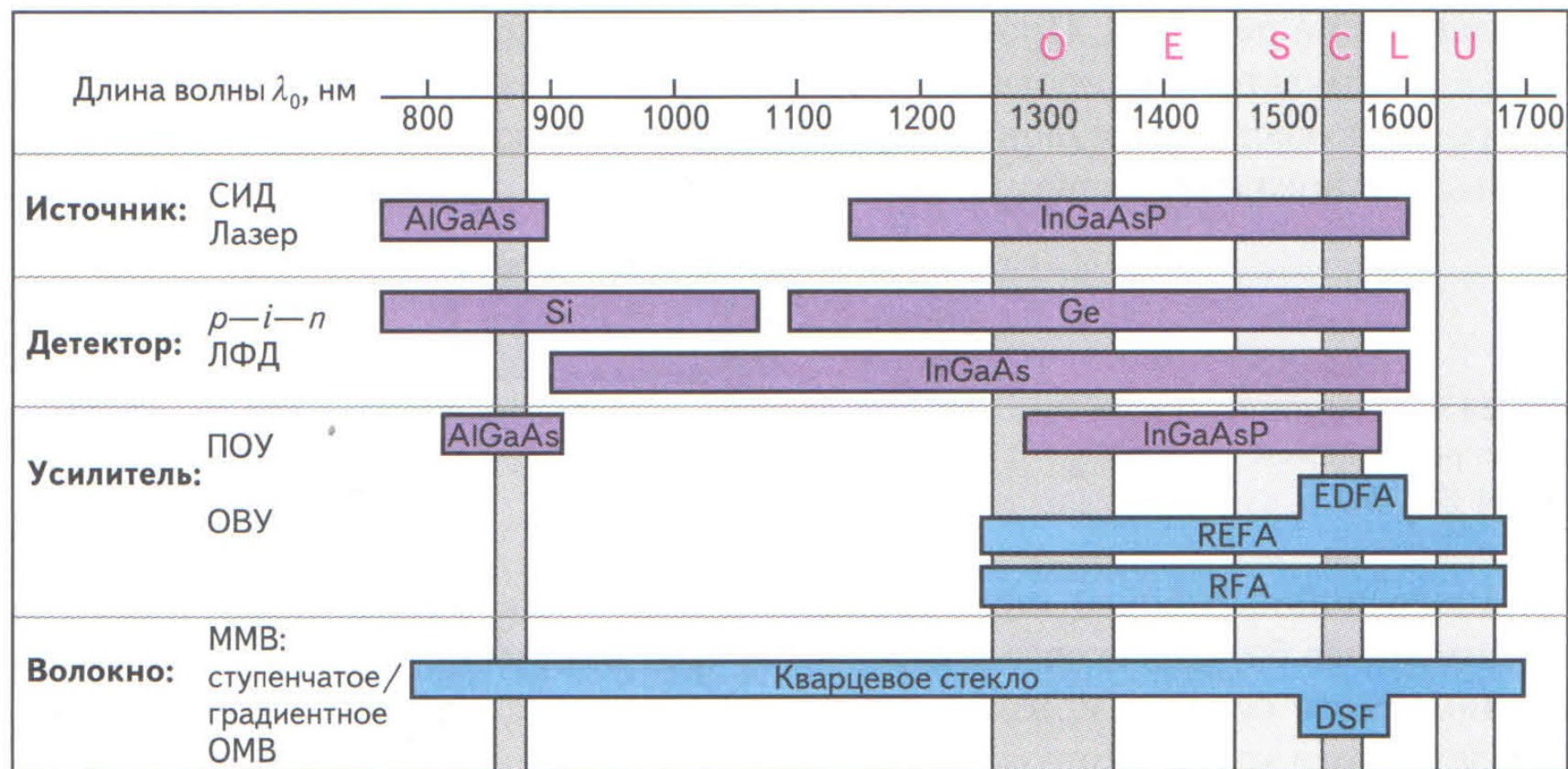


Мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM)

Примерные битовые скорости передачи стандарта SONET (Синхр оптическая сеть)

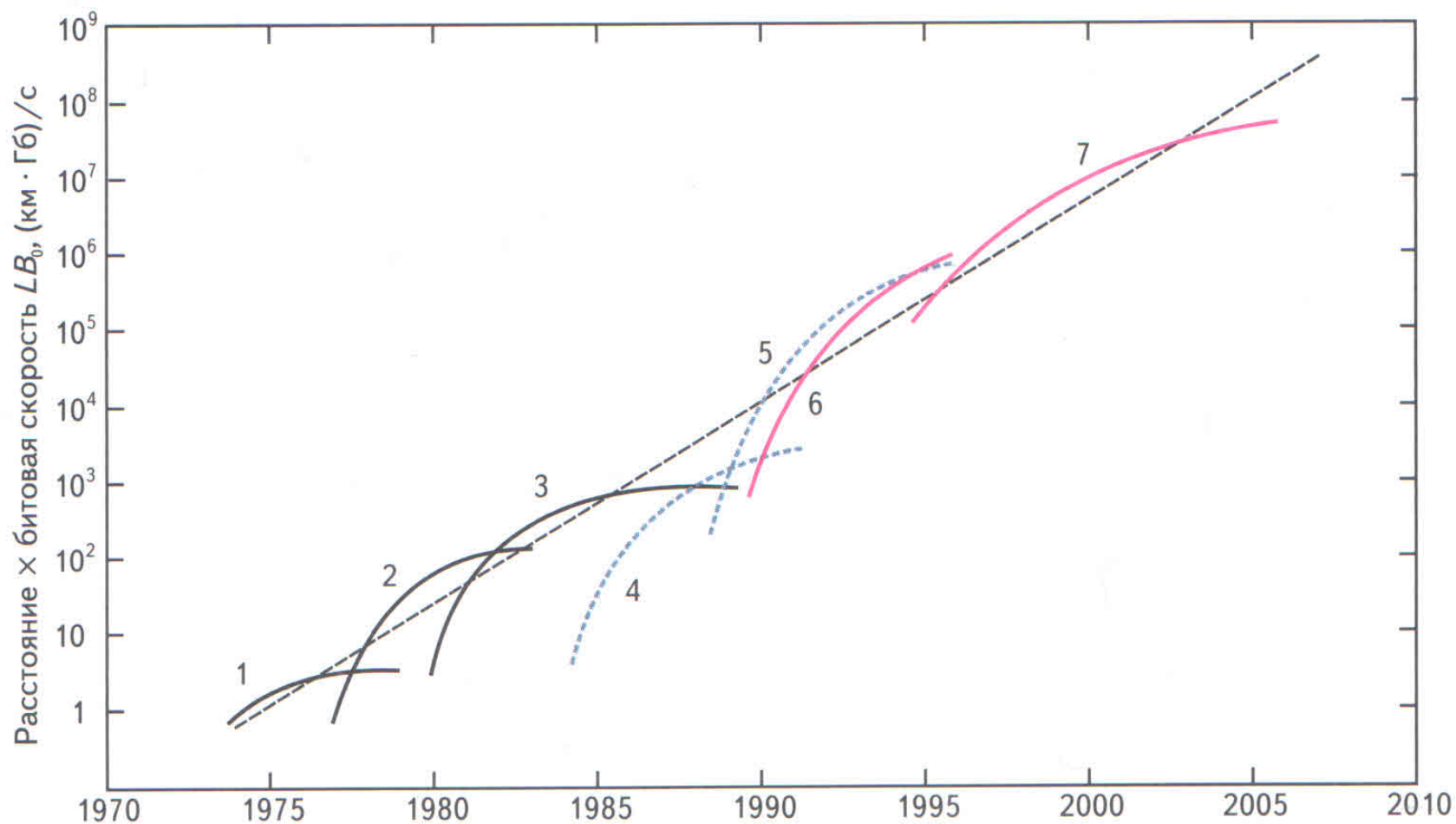
OC-1	OC-3	OC-12	OC-24	OC-48	OC-192	OC-768
52	156	622	1,25	2,5	10	40
Мб/с	Мб/с	Мб/с	Гб/с	Гб/с	Гб/с	Гб/с

Типы компонент волоконно-оптических систем связи



Типы и материалы оптических источников, детекторов, усилителей и волокон, использованные на различных длинах волн. Первые поколения оптических линий связи работали на длинах волн вблизи 870, 1310 и 1550 нм

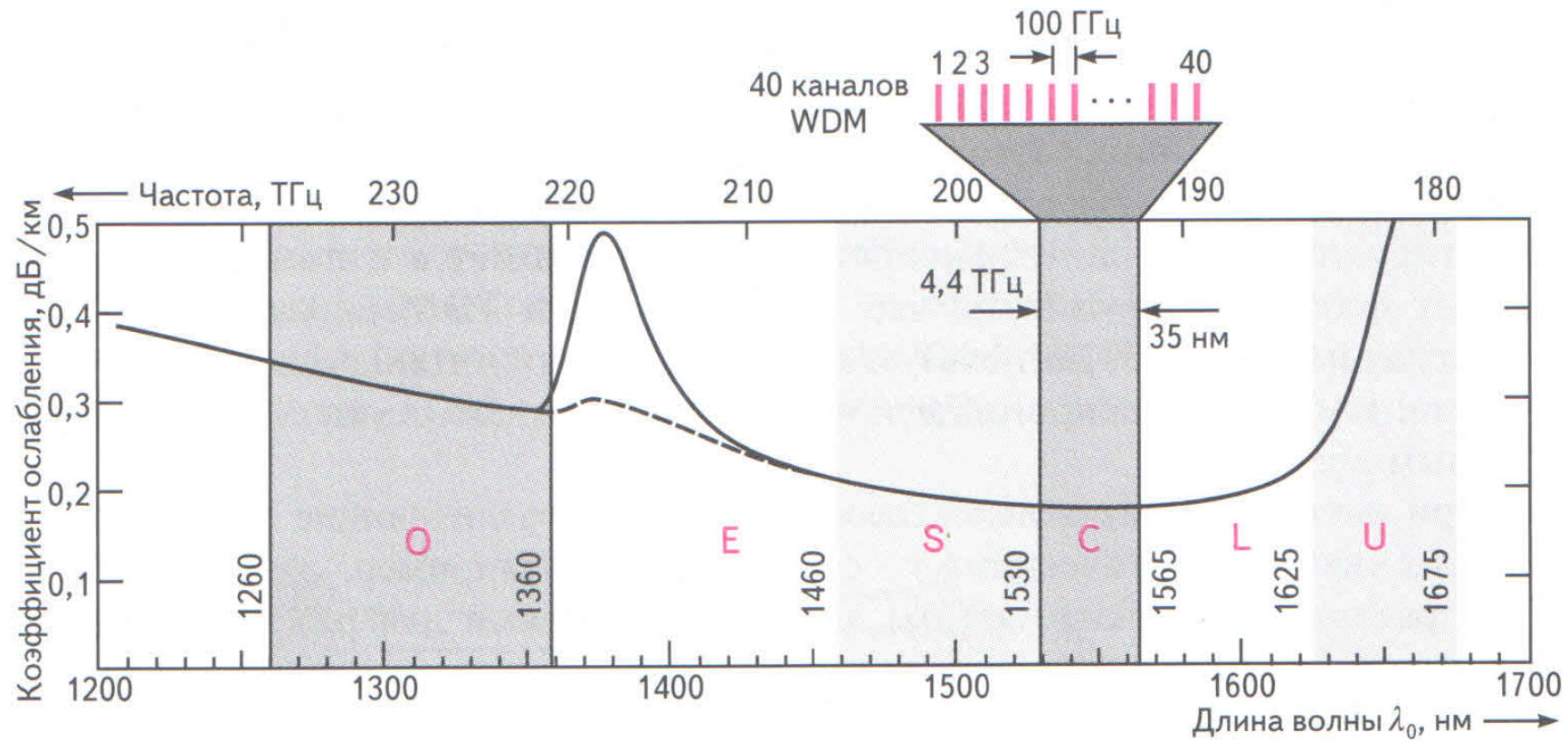
Эволюция волоконно-оптических систем связи



История систем волоконно-оптической связи:

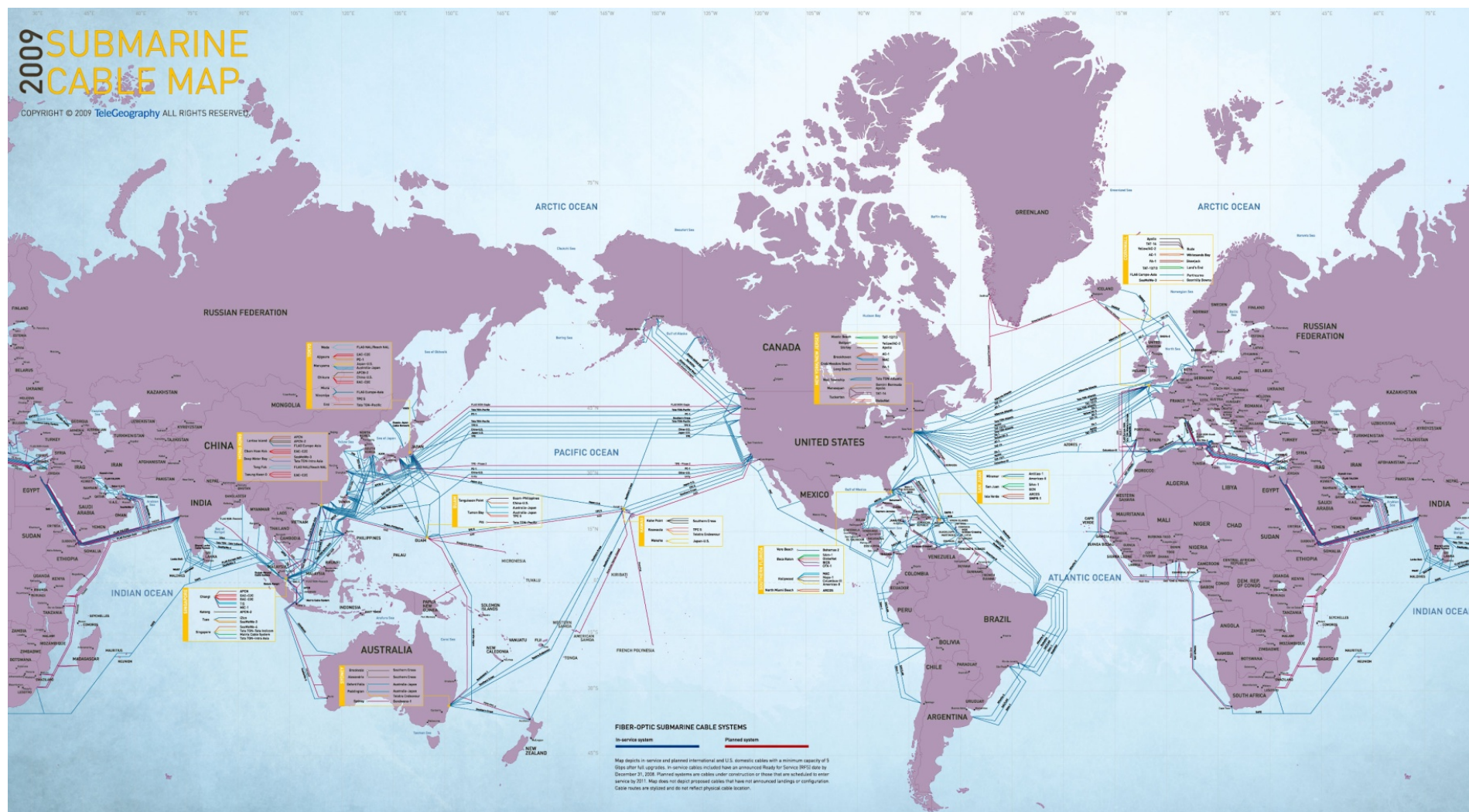
1 – 870 нм на MMB; 2 – 1310 нм OMB; 3 – 1550 нм, OMB (DSF), одночастотный лазер;
4 – когерентные; 5 – солитон; 6 – OBU; 7 – WDM

Современные системы WDM

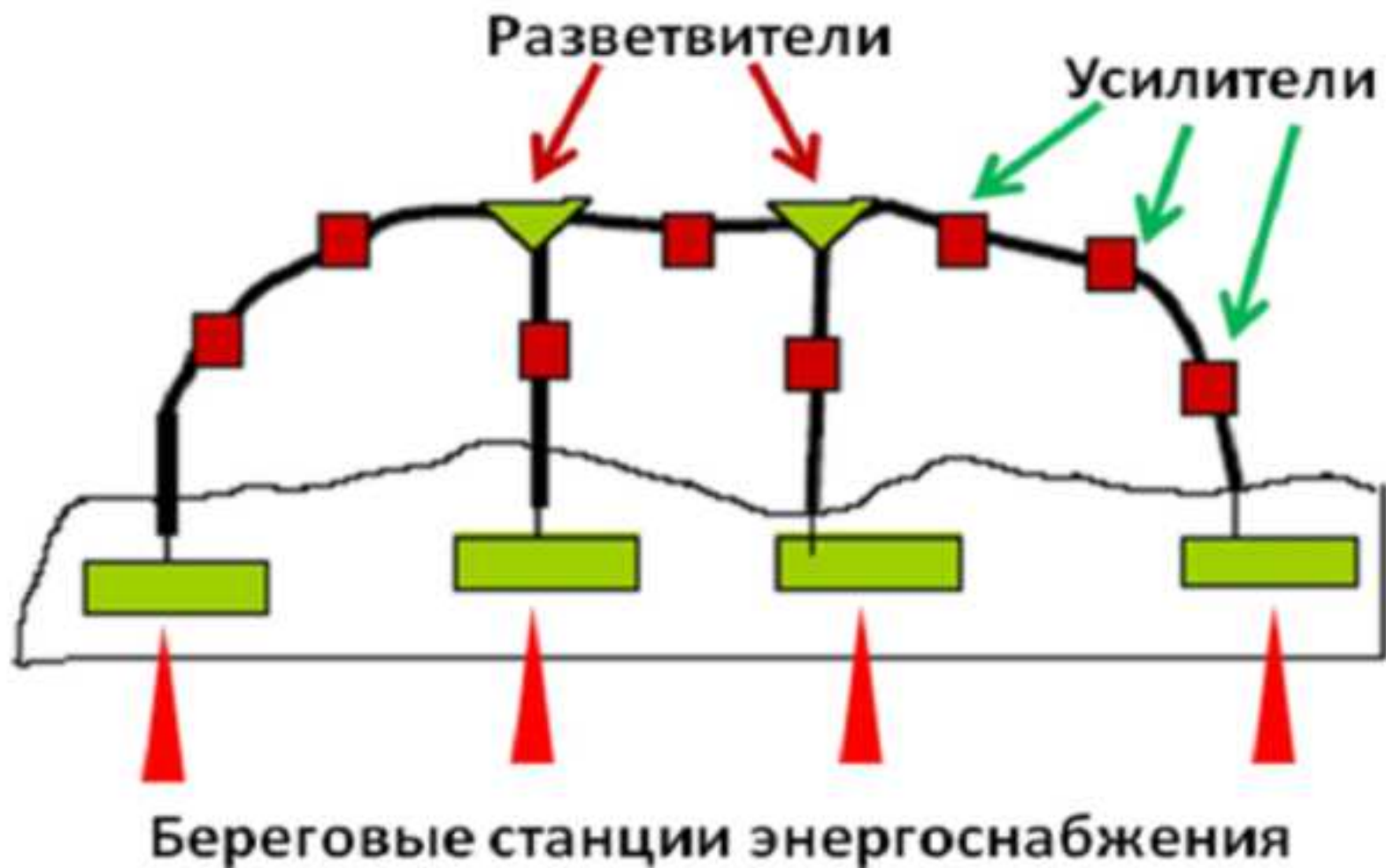


40-канальная система WDM в спектральной полосе С, где ослабление в волокне минимально. Расстояние между каналами 100 ГГц

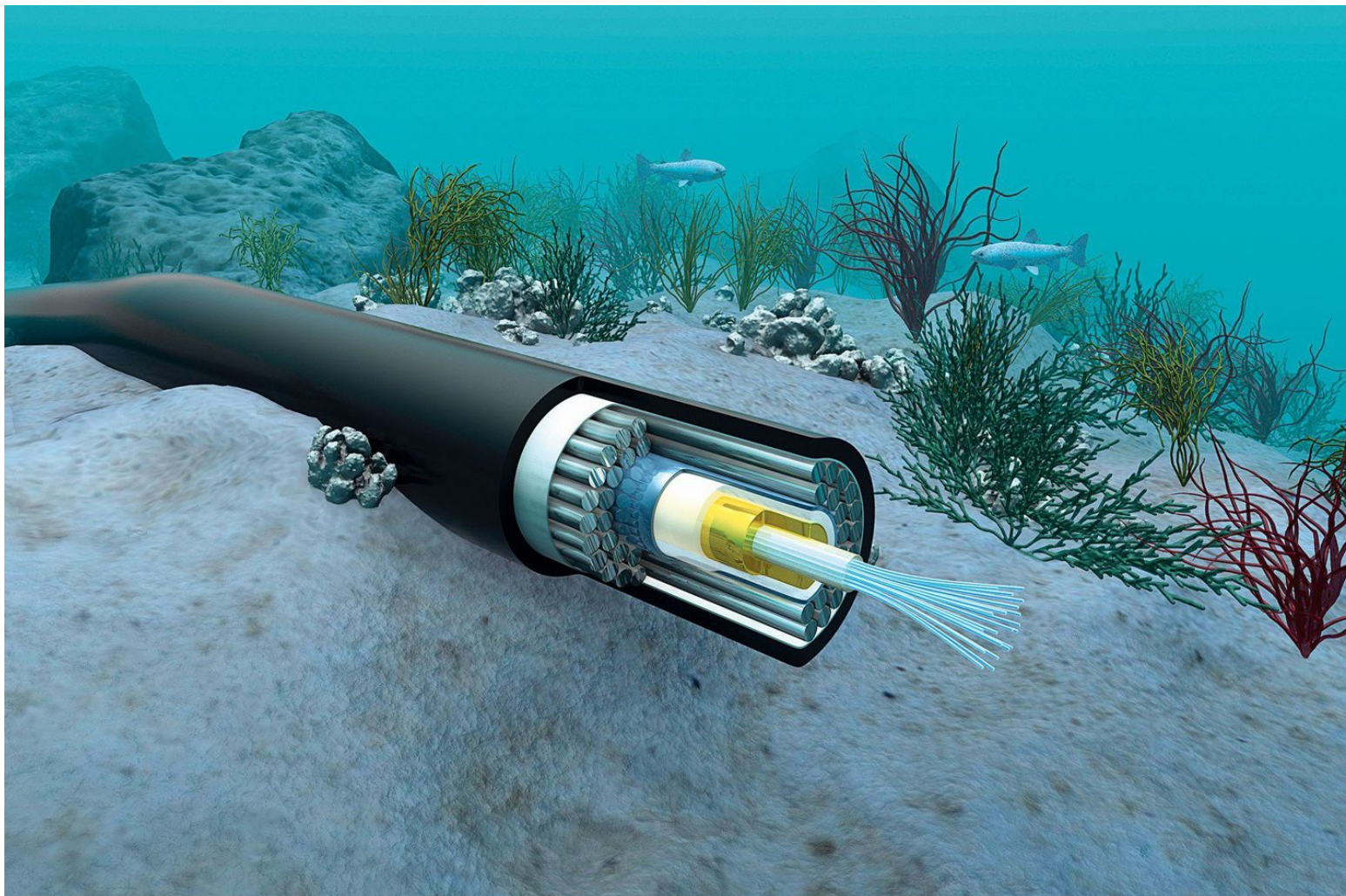
Подводные волоконно-оптические линии связи



Регенерация сигнала в волоконно-оптических линиях связи



Подводный кабель ВОЛС (симуляция)



Работа на судне-кабелеукладчике

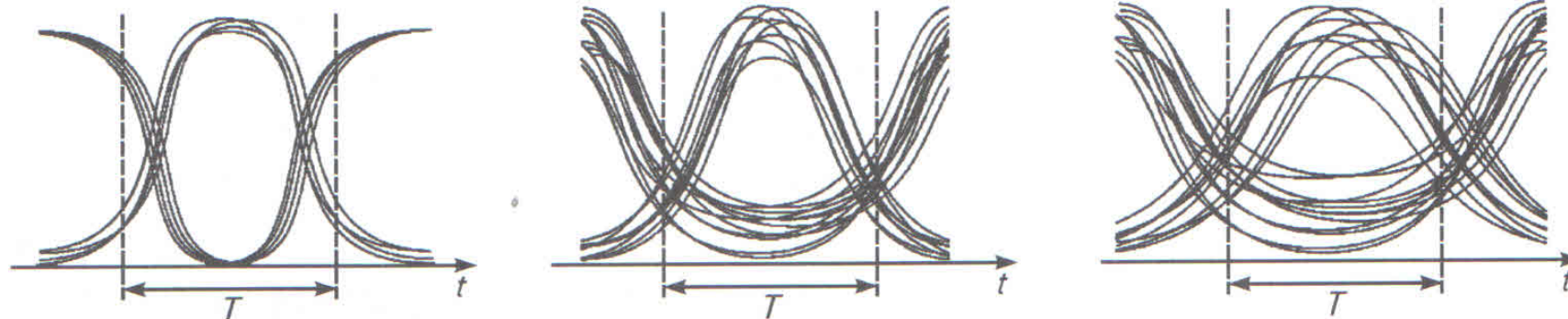


Судно-кабелеукладчик



Спасибо за внимание!

Контроль частоты ошибок по битам



Закрывание глазковой диаграммы с ростом шума и уширения

