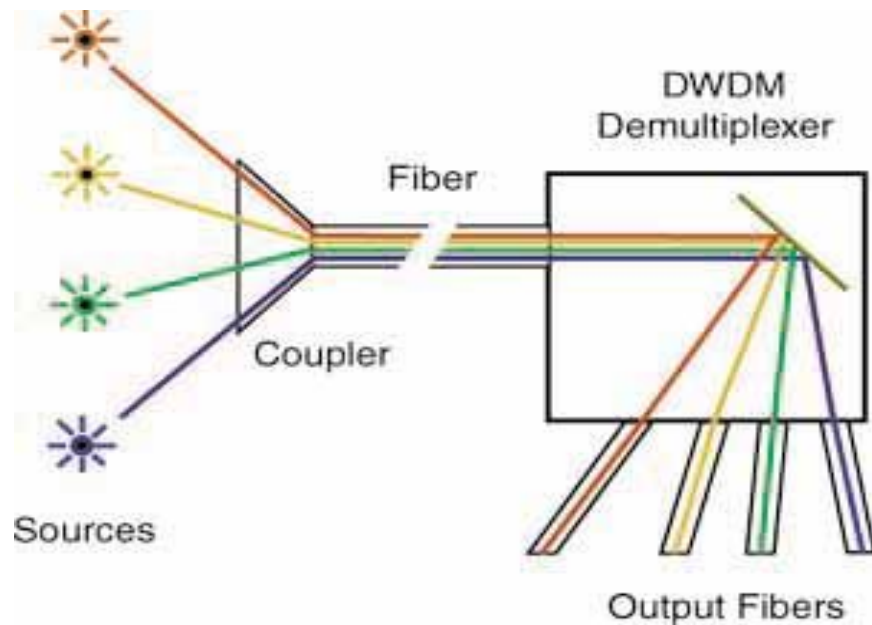
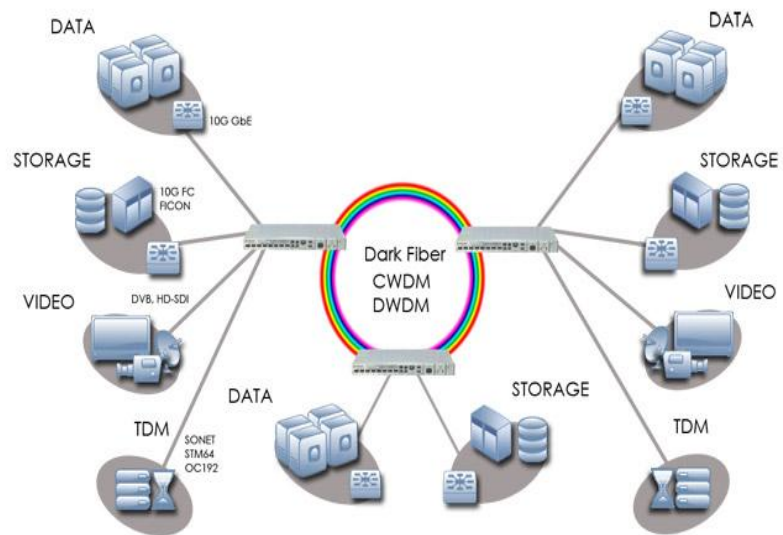


# Технологии уплотненного волнового мультиплексирования (DWDM)



№  
2  
3

<b>ЧТЕНИЕ И ПРОСМОТР СЛАЙДОВ</b>	<b>ЗАПИСЬ СЛАЙДОВ</b>
№3-5, №10, №12-14, №16-19, №22, №24-25.	№6-9 , №11, №15, №20-21, №23

Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой организовывается постоянный канал с двухточечной топологией между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети.

---

В первичных сетях используется техника **коммутации каналов**.

**Существует три поколения технологий первичных сетей:**

- плезиохронная цифровая иерархия (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH);
- синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH), в Америке соответствует стандарт SONET;
- уплотненное волновое мультиплексирование (DWDM).**

до нескольких Тбит/с. Эти системы используют новые принципы передачи информации - оптические солитоны и спектральное разделение каналов, а также принципиально новую элементную базу, связанную с новыми материалами. Является важным преимуществом более высокая скорость передачи информации и более высокая надежность по сравнению с проводной электросвязью и радиосвязью. Именно эти качества обусловили быстрое развитие волоконно-оптических систем связи за последние 10-15 лет. В настоящее время в мире проложено уже более 100 млн. км таких линий связи. Более того, все континенты связаны подводными волоконно-оптическими линиями связи, общая длина которых превышает 300 тыс. км. Разрабатываются и испытываются волоконно-оптические системы связи нового поколения с пропускной способностью в десятки и сотни Гбит/с, а в перспективе - до нескольких Тбит/с. Эти системы используют новые принципы передачи информации - оптические солитоны и спектральное разделение каналов, а также принципиально новую элементную базу, основанную на новых материалах и современных технологиях.

Традиционные технологии телекоммуникаций позволяют по одному оптическому волокну передать только один сигнал. Суть же **технологии оптического уплотнения** заключается в возможности организации множества отдельных сигналов *SDH* по одному волокну, а, следовательно, многократном увеличении пропускной способности линии связи.

Основы этой технологии были заложены в **1958г**, еще до появления самой волоконной оптики. Однако прошло около 20 лет, прежде чем были созданы первые компоненты мультиплексных систем. Первоначально они создавались для лабораторных исследований, и лишь в 1980 году технология спектрального уплотнения (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) была предложена для телекоммуникаций. А еще через пять лет в исследовательском центре компании AT&T была реализована технология плотного спектрального уплотнения (*Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM*), когда удалось в одном оптическом волокне создать 10 каналов по 2 Gbps.

- Устройство волнового (спектрального) уплотнения WDM - WDM фильтр - выполняет функции мультиплексирования MUX (объединения) или демультиплексирования DEMUX (выделения или фильтрации) оптических сигналов разных длин волн - каналов - в одно волокно из множества волокон или из одного волокна в несколько волокон. На передающей и приемной сторонах могут устанавливаться однотипные устройства, но работающие в режимах MUX и DEMUX соответственно.
- Сам факт существования устройств WDM основан на свойстве волокна пропускать множество каналов, которые распространяются по волокну, не взаимодействуя между собой, рисунок 1.

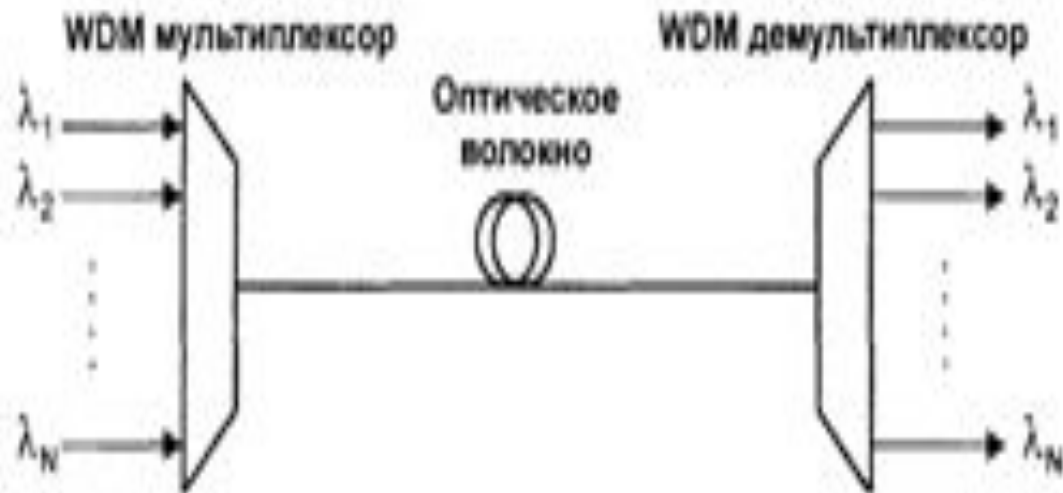
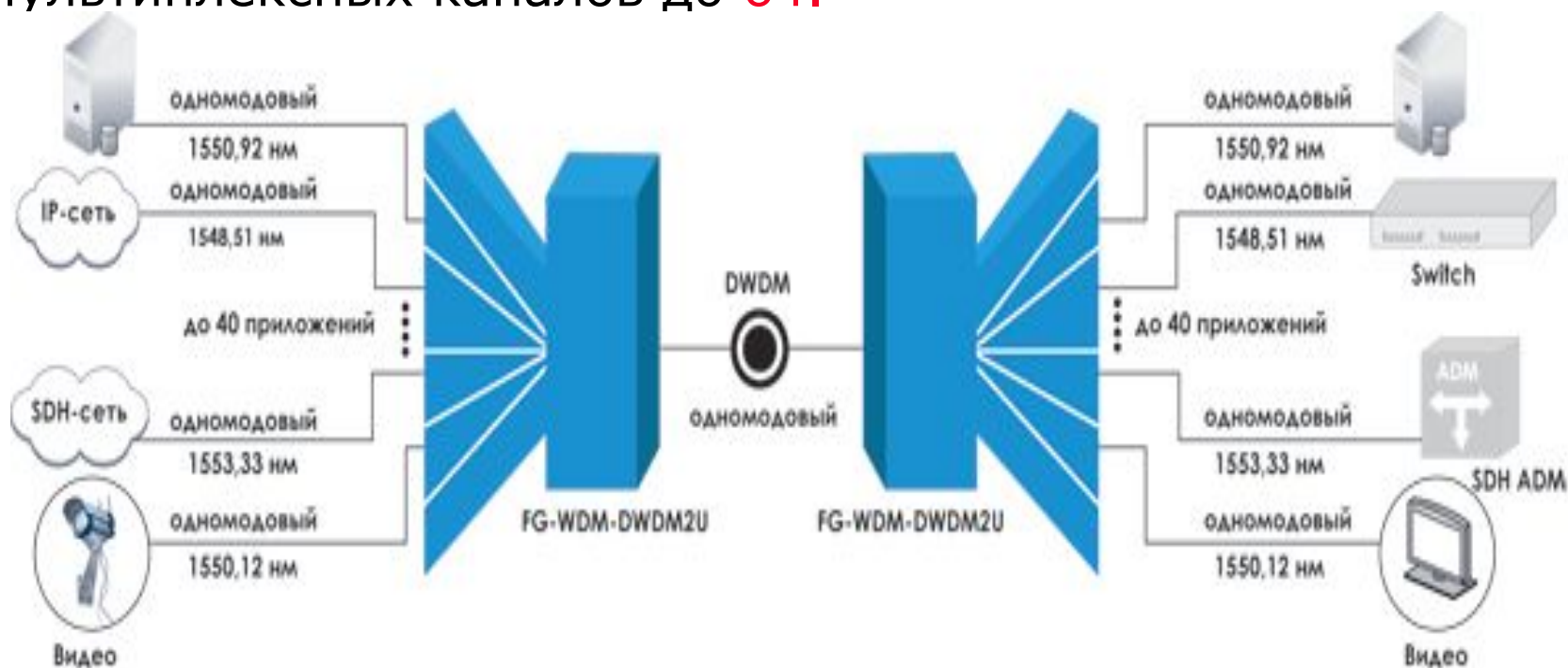


Рис. 1.  
Схема оптического сегмента, использующего передачу мультиплексного сигнала по волокну

- Термин **DWDM (dense wavelength division multiplexer)** - плотное волновое мультиплексирование - используется по отношению к WDM устройствам с расстоянием между соседними каналами 1,6 нм и менее.
- Для построения многоканальных WDM систем требуются узкополосные лазеры, стабильно выдерживающие нужную длину волны. Пока именно лазеры остаются наиболее дорогим элементом в таких системах, несколько сдерживая их развитие. В настоящее время поставляются системы с числом каналов **4, 8, 16 и 32**. Предполагается рост числа мультиплексных каналов до **64**.



# Технология плотного волнового (спектрального) мультиплексирования (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM)

---

**Предназначена** для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях

**Метод мультиплексирования** — информация в оптическом волокне передается одновременно большим количеством световых волн (лямбда  $\lambda$  — от традиционного для физики обозначения длины волны).

**Работают** по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный **спектральный канал**. Каждая волна несет собственную информацию, при этом оборудование DWDM *не занимается* непосредственно проблемами передачи данных на каждой волне, то есть способом кодирования информации и протоколом ее передачи.

**Устройства DWDM** занимаются только объединением различных волн в одном световом пучке, а также выделением из общего сигнала информации каждого спектрального канала.



# Принципы работы

Принцип мультиплексирования (рис. 2), используемый *DWDM*, подобен тому, как видимый человеческим глазом **свет** состоит из различных цветов, на которые можно его разложить, а затем опять собрать, так и передаваемый по технологии *DWDM* световой поток, состоит из различных длин волн ( $\lambda$ ). Действительно, так как длина волны обратно пропорциональна ее частоте, то "смешивание" в одном волокне световых сигналов с разной длиной волны - это "смешивание" сигналов разной частоты, но только в совершенно другом диапазоне - терагерцовом, т.е. по одному волокну можно передавать более сотни стандартных каналов.



Рис. 2. Мультиплексирование в *DWDM*.

Естественно, **свет** - это сигнал качественно другой природы, нежели электрический ток, поэтому оборудование для мультиплексирования световых волн кардинально отличается от модуляторов и фильтров, применяемых в сетях *FDM*

~~*DWDM*~~-технология пришла на смену своей предшественнице - технологии *WDM*, которая использует четыре спектральных канала в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм, с разносом несущих в 800 - 400 ГГц. Мультиплексирование *DWDM* называется «**уплотнённым**» из-за того, что в нем используется существенно меньшее расстояние между длинами волн, чем в *WDM*. На сегодня рекомендацией определены:

- частотный план с разнесением частот между соседними каналами 100 ГГц ( 0,8 нм), в соответствии с которым для передачи данных применяется 41 волна в диапазоне от 1528,77 нм (196, 1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц)
- частотный план с шагом в 50 ГГц ( 0,4 нм), позволяющий передавать в этом же диапазоне 81 длину волны. Некоторыми компаниями выпускается также оборудование, способное работать с частотной сеткой с шагом 25 ГГц (называемое *High-Dense WDM, HDWDM*).

- Реализация частотных планов с шагом 50 ГГц и 25 ГГц предъявляет гораздо более жесткие требования к оборудованию *DWDM*, особенно в том случае, если каждая волна переносит сигналы со скоростью модуляции 10 Гбит/с и выше. Это связано с тем, что ширина спектра передаваемого сигнала пропорциональна частоте модуляции, поэтому спектр сигнала *STM-64* примерно в четыре раза шире спектра сигнала *STM-16*. Теоретически зазоры между соседними волнами в 50 ГГц и даже 25 ГГц позволяют передавать данные со скоростями 10 Гбит/с, но при этом нужно обеспечить высокую точность частоты и минимально возможную ширину спектра несущей волны, а также снизить уровень шумов, чтобы минимизировать эффект перекрытия спектра, показанный на рисунке:

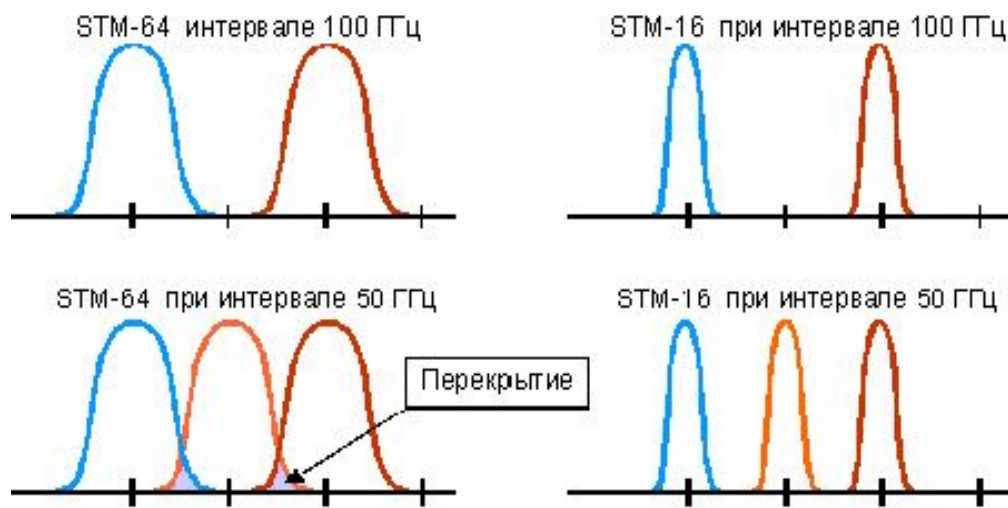


Рис. 2 . Перекрытие спектра соседних волн для разных частотных планов и скоростей передачи данных

Общий принцип передачи и приема *DWDM*-системы представлен на рис.4. Для того чтобы организовать в одном волокне несколько оптических каналов сигналы *SDH* «окрашивают», то есть меняют оптическую длину волны для каждого такого сигнала. «Окрашенные» сигналы смешиваются при помощи мультиплексора и передаются в оптическую линию. В конечном пункте происходит обратная операция - «окрашенные» сигналы *SDH* выделяются из группового сигнала и передаются потребителю.

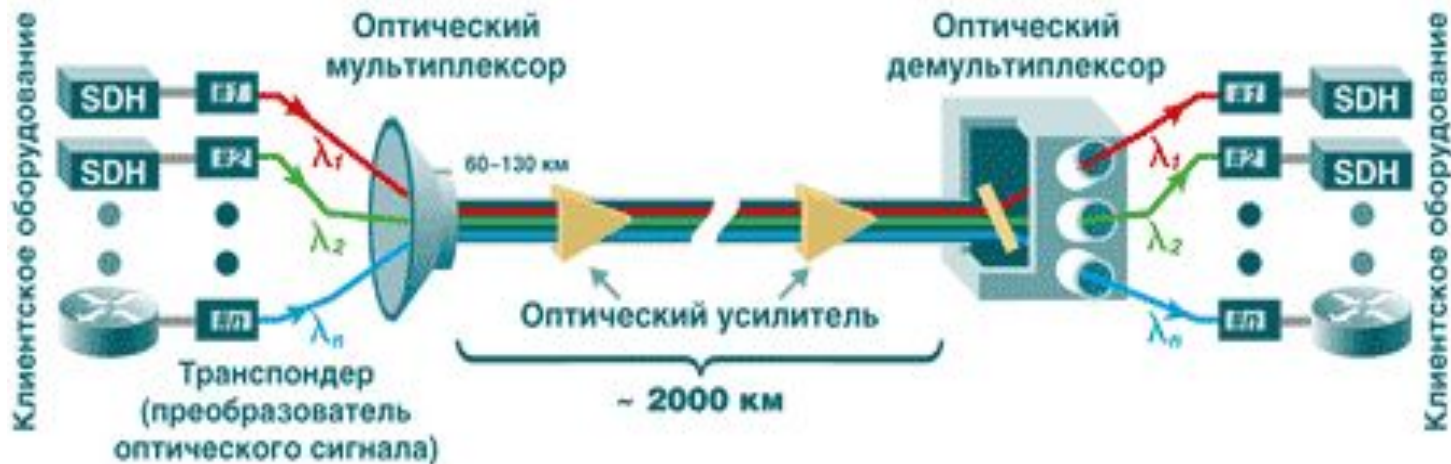


Рис. 4. Принцип *DWDM*-системы

Для того чтобы передавать по одному волокну множество волновых потоков, технология *DWDM* обеспечена оборудованием особой точности. Так, погрешность длины волны, которую обеспечивает стандартный лазер, применяемый в телекоммуникациях, примерно в сто раз больше, чем требуется в системе *DWDM*.

- По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для того чтобы его усилить, используются оптические усилители. Протяженность участка между оптическими усилителями может достигать 160 км и более, что обеспечивает экономичность создаваемых магистралей *DWDM*, в которых длина мультиплексной секции составляет на сегодня 600-3000 км при применении 1-7 промежуточных оптических усилителей. Это позволяет передавать данные на расстояния до 4000 км без перевода оптического сигнала в электрический (для сравнения, в *SDH* это расстояние не превышает 200 км).
- Новые исследования в области *EDFA* привели к появлению усилителей, работающих в так называемом *L*-диапазоне (4-е окно прозрачности), от 1570 нм до 1605 нм. Использование этого диапазона, а также сокращение расстояния между волнами до 50 ГГц и 25 ГГц позволяет нарастить количество одновременно передаваемых длин волн до 80 - 160 и более, то есть обеспечить передачу трафика со скоростями 800 Гбит/с - 1,6 Тбит/с в одном направлении по одному оптическому волокну. Так, аппаратура, используемая при построении *DWDM*-сети позволяет задействовать до 160 длин волн.

При анализе возможностей технологии *DWDM* должно учитываться, что по существу она является продолжением и развитием уже известных методов преобразования сигнала должно учитываться, что по существу она является продолжением и развитием уже известных методов преобразования сигнала при его передаче по ВОЛС, в частности, с использованием оборудования синхронной цифровой иерархии SDH. *SDH*-технология разрабатывалась для обеспечения широкого набора услуг связи и, прежде всего, широкополосной *ISDN*. Эта технология обеспечивает передачу цифрового трафика на фиксированных скоростях от 2 Мбит/с до 40 Гбит/с. Технология *DWDM* на сегодняшний день позволяет передавать широкополосный сигнал со скоростью от **2,5 до 160 Гбит/с**. В дальнейшем верхний предел скорости передачи может быть существенно увеличен. Согласно мировым тенденциям, развитие телекоммуникаций будущего связано с пакетными и *IP*-сетями. Поэтому в перспективе сети, базирующиеся полностью на *SDH*-технологии, постепенно потеряют свое значение. Совместное применение оборудования *SDH* и *DWDM* и широко распространенного на существующих сетях оборудования стандарта PDH обеспечит гибкий и безболезненный переход к полностью *IP*-совместимым сетям. Такой сценарий развития удовлетворяет требованиям как к функциональности, так и к пропускной способности сетей

- DWDM-технологии имеют базовые наборы стандартных топологий сети:
  - точка-точка;
  - кольцо, шина, дерево и звезда;
  - сотовая структура.
- Естественным развитием топологии "точка - точка" является построение DWDM-сети, в которой промежуточные узлы выполняют функции мультиплексоров ввода-вывода (рис. 4).

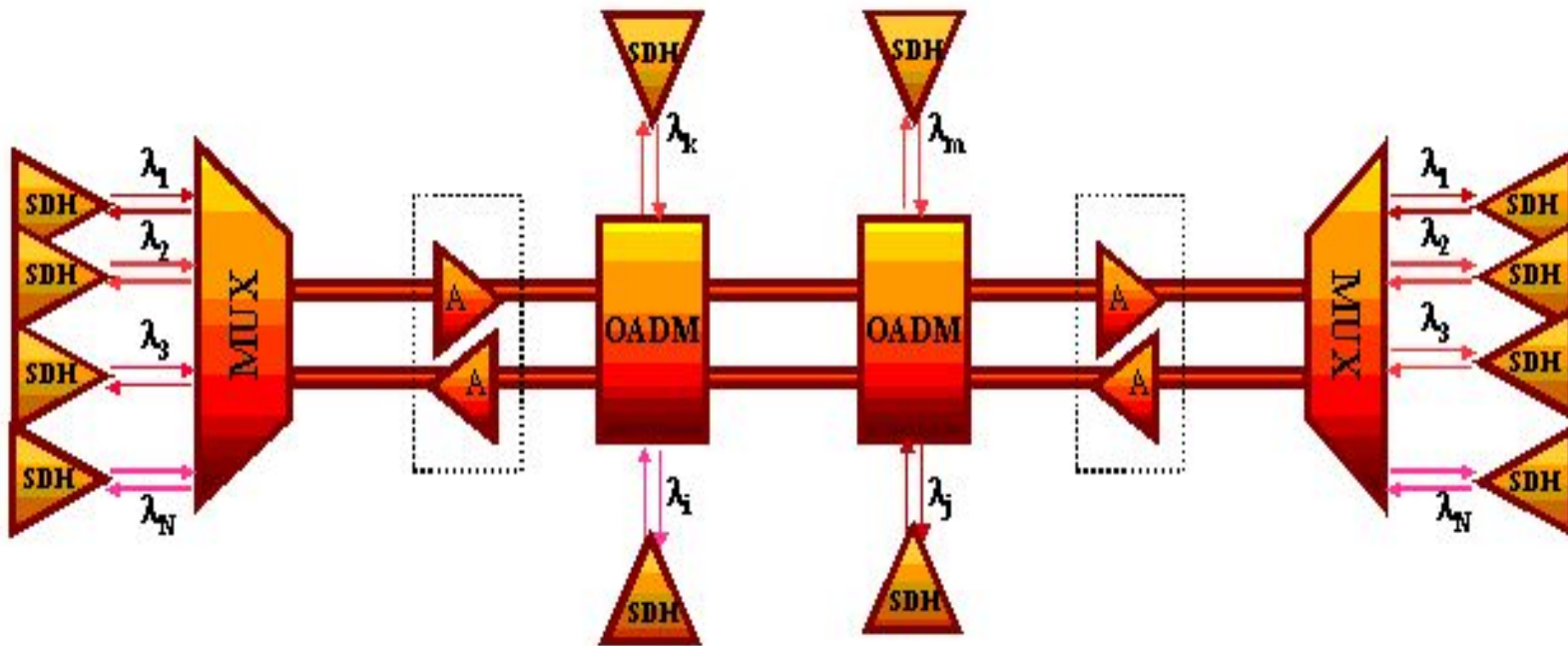
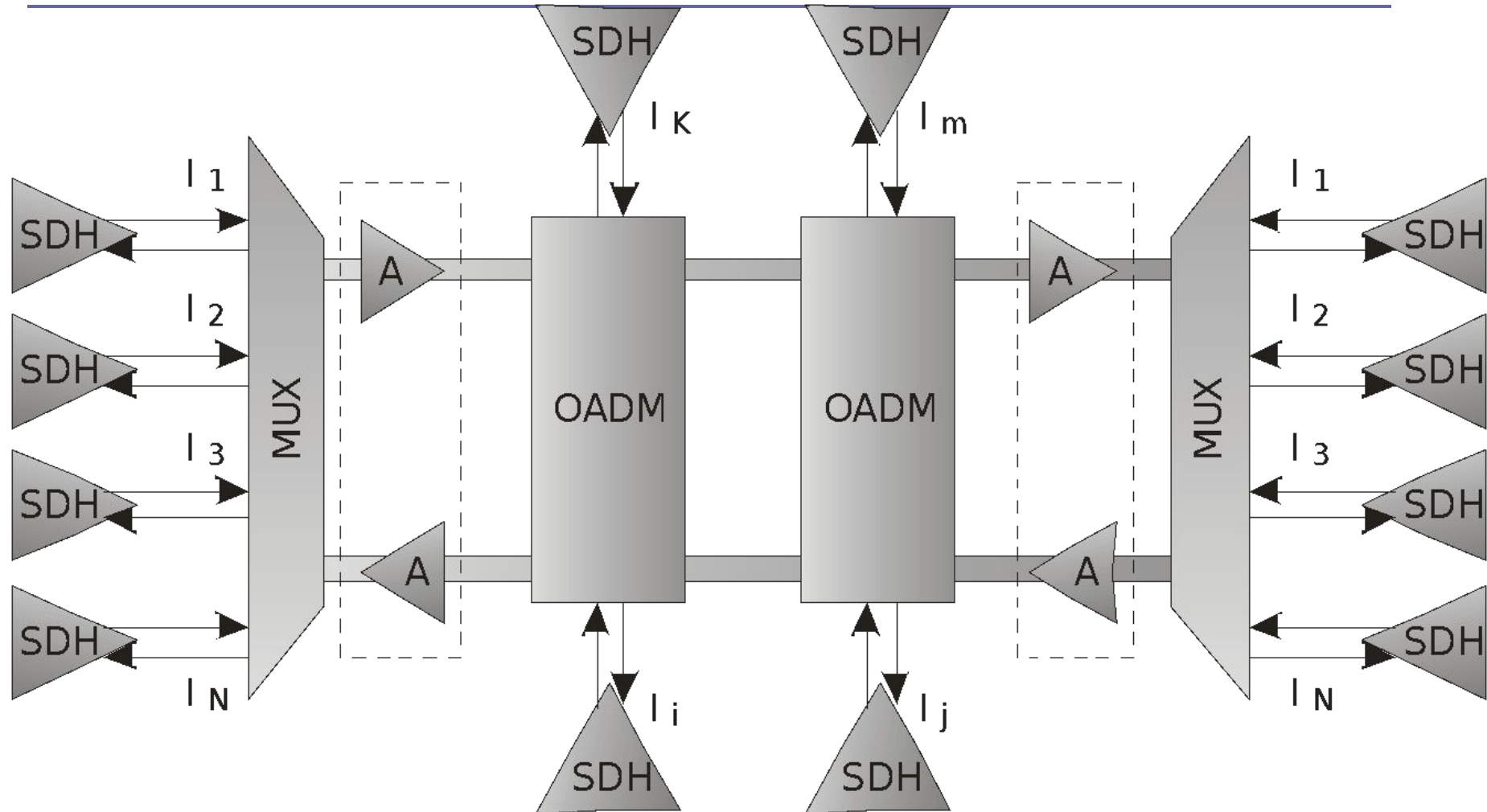


Рис 4. Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах

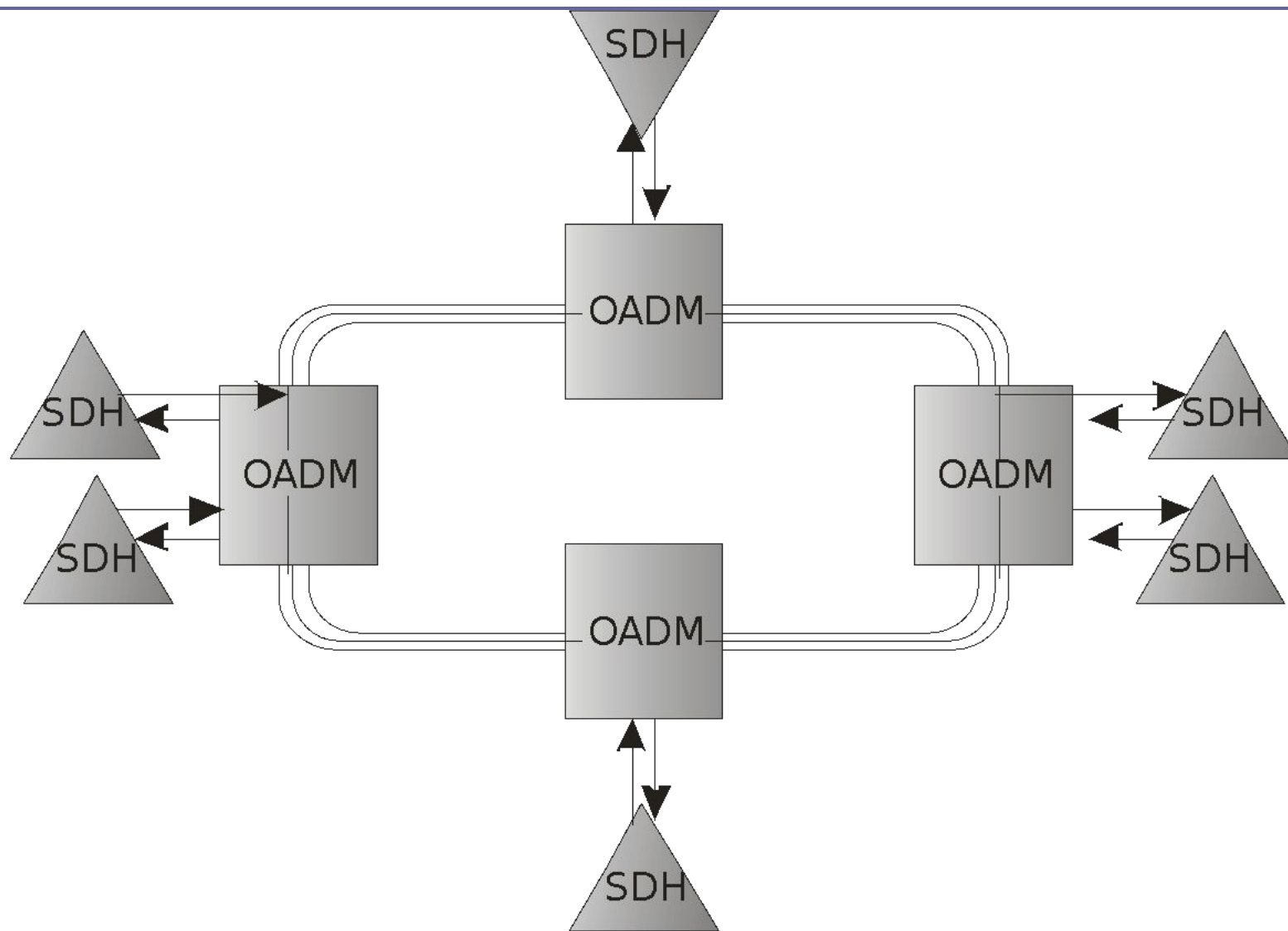
# Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах



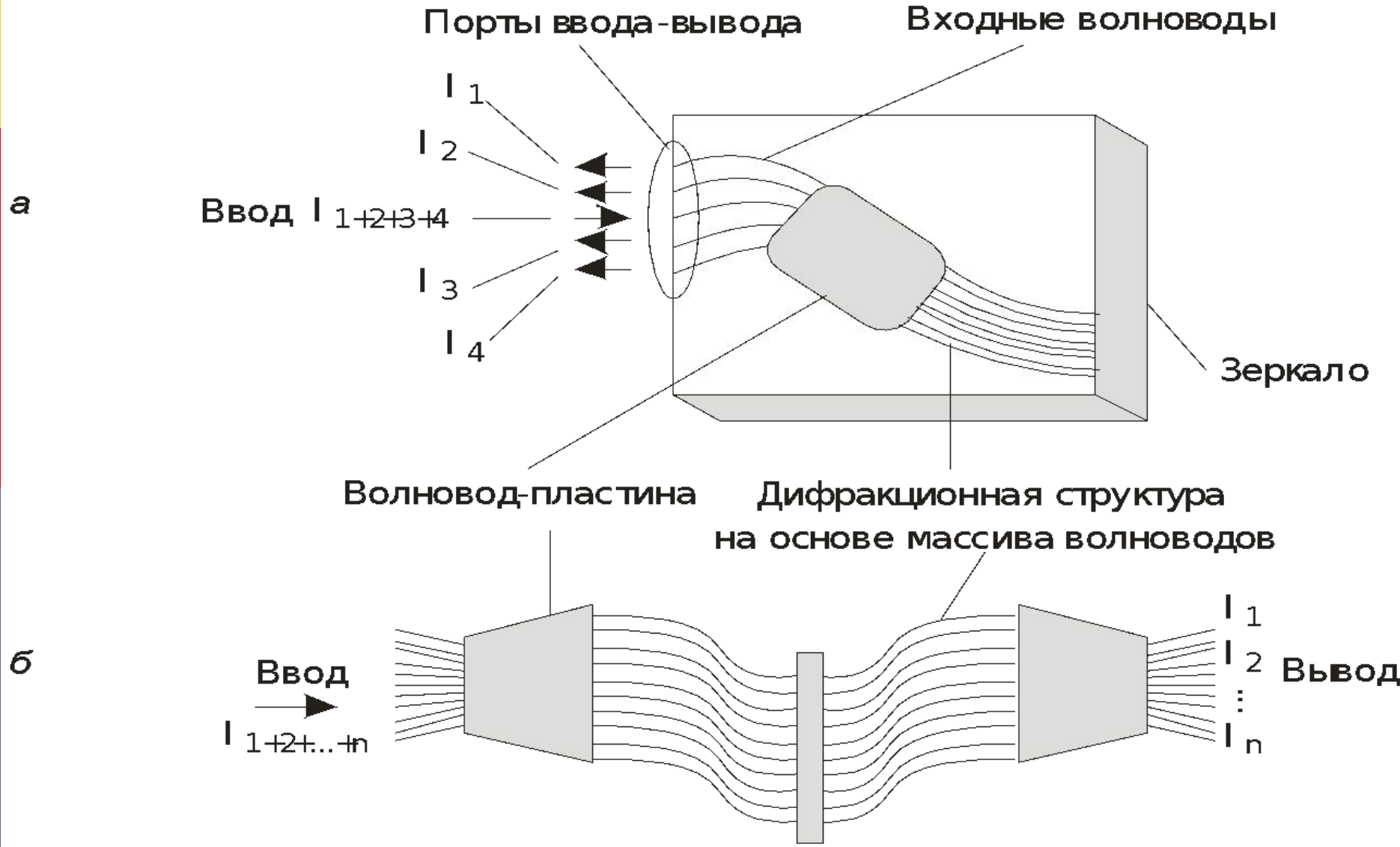
OADM – Optical Add-Drop Multiplexer (оптические мультиплексоры ввода-вывода)



# Кольцо мультиплексоров DWDM

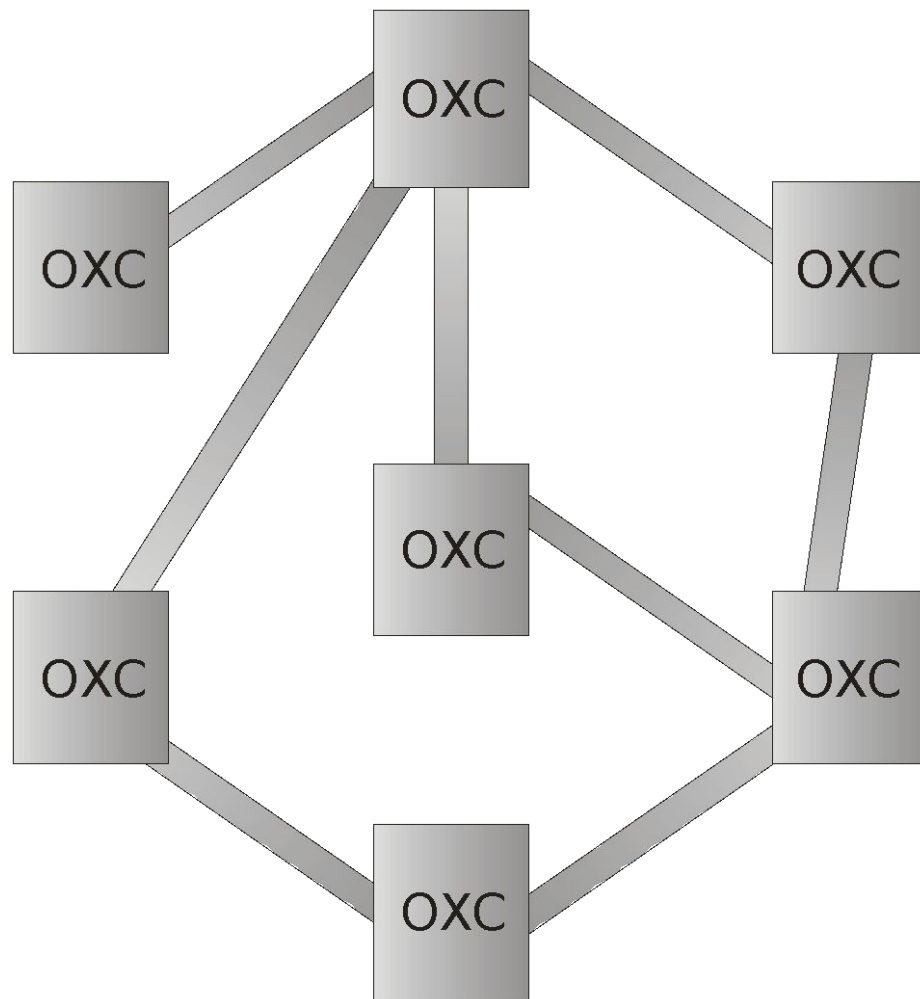


# Полное демультимплексирование сигнала с помощью дифракционной фазовой решетки



# Ячеистая топология сети DWDM

**Оптические кросс-коннекторы** (Optical Cross-Connect, OXC), необходимы для реализации этой топологии, которые не только добавляют волны в общий транзитный сигнал и выводят их оттуда, как это делают мультиплексоры ввода-вывода, но и поддерживают произвольную коммутацию между оптическими сигналами, передаваемыми волнами разной длины.



□ Можно выделить четыре основных узла оборудования *DWDM*:

---

1. оптический терминальный мультиплексор (*Optical Terminal Multiplexer - OTM*),
2. регенератор (*Regenerator - REG*),
3. оптический усилитель (*Optical Line Amplifier - OLA*),
4. оптический мультиплексор ввода-вывода (*Optical Add Drop Multiplexer - OADM*).

- Оптические мультиплексоры ввода-вывода (OADM) могут вывести из общего оптического сигнала волну определенной длины и ввести туда сигнал этой же длины волны, так что спектр транзитного сигнала не изменится, а соединение будет выполнено с одним из абонентов, подключенных к промежуточному мультиплексору. OADM может выполнять операции ввода-вывода волн оптическими средствами или с помощью промежуточного преобразования в электрическую форму. Для связи на большие расстояния требуется восстанавливать групповой сигнал через каждые 600 км. И тогда вместо OADM в некоторых точках необходимо установить регенераторы. Если же мультиплексор использует электрическую регенерацию сигнала, то количество выводимых волн может быть любым в пределах имеющегося набора волн, так как транзитный оптический сигнал предварительно полностью демультимплексируется.

- На рисунке 5 показаны возможности увеличения полосы пропускания (или информативности) ВОЛС за счет применения *DWDM*-технологии для стандартных синхронных сетей передачи информации и синхронных оптических сетей (*SDH/SONET*) с информационными емкостями каждого канала 2,5 Гбит/с, 10 Гбит/с и 40 Гбит/с.

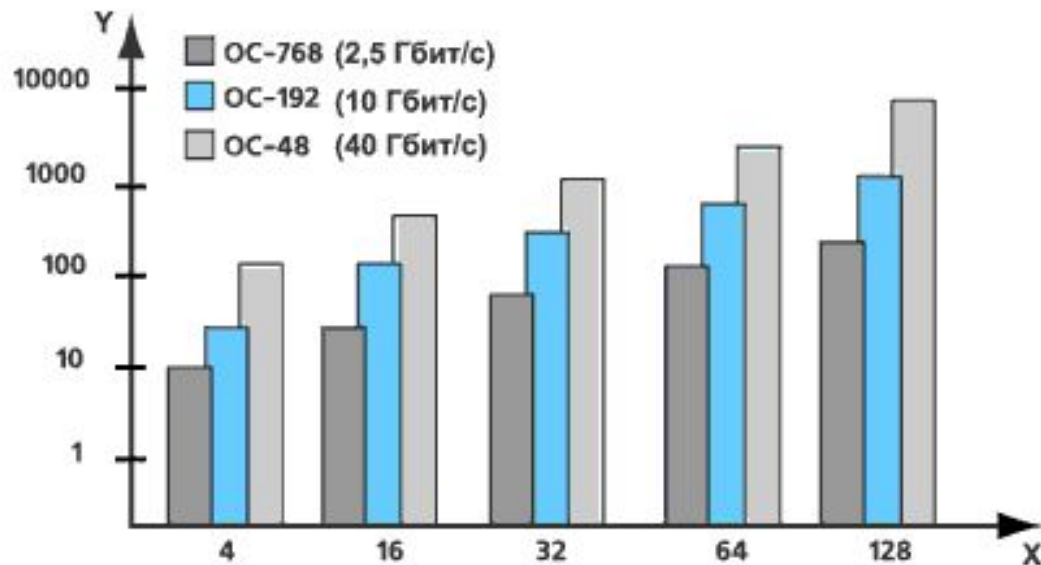


Рис. 5. Зависимость полной скорости передачи информации по оптическому волокну от числа мультиплексируемых спектральных каналов для трех скоростей в каждом канале

## □ Основные преимущества технологии DWDM состоят в следующем:

- Дальнейшее повышение коэффициента использования частотного потенциала оптического волокна (его теоретическая полоса пропускания - 25 000 ГГц) - достижение терабитных скоростей.
- Отличная масштабируемость - повышение суммарной скорости сети за счет добавления новых спектральных каналов без необходимости замены всех магистральных модулей мультиплексоров
- Экономическая эффективность за счет отказа от электрической регенерации на участках сети большой протяженности.
  - Независимость от протокола передачи данных - технологическая "прозрачность", позволяющая передавать через магистраль *DWDM* трафик сетей любого типа.
  - Независимость спектральных каналов друг от друга.
  - Совместимость с технологией *SDH* - мультиплексоры *DWDM* оснащаются интерфейсами *STM-N*, способными принимать и передавать данные мультиплексоров *SDH*.
  - Совместимость с технологиями семейства *Ethernet - Gigabit Ethernet* и *10GE*.

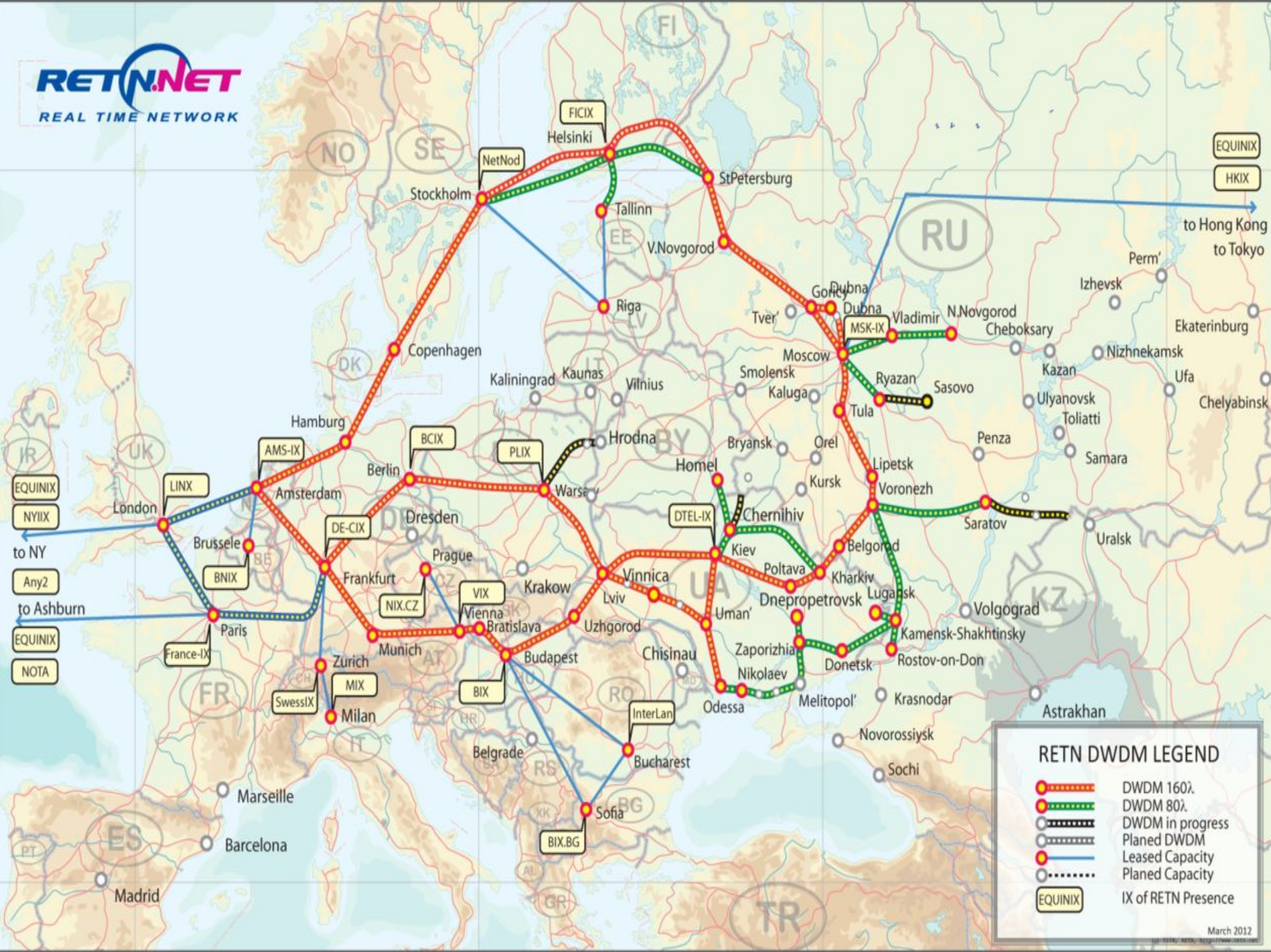
*RETN* (рис. 6) оказывает услуги передачи данных, голоса и *IP*-трафика между крупнейшими телекоммуникационными узлами мира и России. *DWDM*-технология рассматривается уже не только как средство повышения пропускной способности оптического волокна, а как наиболее важная технология для оптоволоконной-инфраструктуры мультисервисных и мобильных сетей, обеспечивающая резкое повышение пропускной способности сети и реализующая широкий набор принципиально новых услуг связи. Возможность *DWDM* интегрироваться с *ATM*, *IP*, *ASDL* и другими перспективными технологиями и протоколами передачи цифровой информации делает ее незаменимой в процессе конвергенции между различными видами и службами связи.

В качестве примера практического использования *DWDM*-технологии может служить международная магистральная телекоммуникационная сеть (*RETN - Real Time Network*), которая использует оборудование *DWDM* на наиболее загружаемых трафиком участках, значительно увеличивая пропускную способность без увеличения количества волоконно-оптических линий.

*RETN* (рис. 6) оказывает услуги передачи данных, голоса и *IP*-трафика между крупнейшими телекоммуникационными узлами мира и России.

Услугами сети пользуются более 1200 российских и зарубежных операторов связи, точек обмена трафиком, дата-центров и около 900 международных компаний.





**RETN DWDM LEGEND**

- DWDM 160λ
- DWDM 80λ
- DWDM in progress
- Planned DWDM
- Leased Capacity
- - - Planned Capacity
- EQUINIX IX of RETN Presence

# Ответить на вопросы:

- В чём состоит принцип работы DWDM устройств?
- Устройства DWDM занимаются:
  - а) выделением из общего сигнала информации каждого спектрального канала.*
  - б) проблемами передачи данных на каждой волне.*
  - в) объединением различных волн в одном световом пучке.*
  - г) способом кодирования информации и протоколом ее передачи.*
- Устройства DWDM передают сигнал:
  - а) световой б) электрический в) химический г) оптический*
- По одному волокну можно передать каналов:
  - а) менее 100 б) 100 в) более 100 г) более 150*
- В чём отличие технологии DWDM передачи данных от технологии WDM передачи данных?
- В чём отличие OLA от OADM в данной технологии?
- Для построения DWDM систем требуются:
  - а) лазеры б) светодиоды в) лампы г) дневной свет*

**\*правильных вариантов ответов может быть более 1.**