

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



МНОГОВОЛНОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ (WDM)

Методические указания
по выполнению практической работы
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, А.Н. Щитов

Рецензент

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры *В.Г. Андронов*

Многоволновое уплотнение оптических несущих (WDM) / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, А.Н. Щитов. - Курск, 2018. – с.13: ил. 4, табл. 3. – Библиогр.: с.13.

Методические указания по выполнению практической работы содержат теоретические сведения о технологии WDM и многоволновом уплотнении оптических несущих методах и основных протоколах передачи данных.

Полученные знания в результате выполнения работы дают возможность сформировать целостную картину представления инфокоммуникационных систем и сетей.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Волоконная оптика в телекоммуникациях», утверждённой методическими комиссиями по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Волоконная оптика в телекоммуникациях», а также для студентов других направлений подготовки в области информационных технологий в системе высшего образования.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать. ^{14.02.18} Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,63. Тираж 100 экз. Заказ. 1003. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1 Цели работы

Получение навыков и умений в освоении дисциплины «Волоконная оптика в телекоммуникациях», в вопросе изучения основных методов и технологий уплотнения оптических несущих.

2 Краткие теоретические сведения

Многоволновые системы позволяют увеличить пропускную способность ВОСП, так как скорость систем с TDM (ИКМ) в настоящее время ограничена из-за явления дисперсии скоростью 40 ГБит/с.

Метод многоволнового уплотнения оптических несущих (WDM) – это мультиплексирование по длине волны. В системах TDM все информационные каналы передаются по одному волокну на одной длине волны. Главным отличием систем WDM от систем TDM является то, что в системе WDM передача ведется на нескольких длинах волн. Важно отметить, что на каждой длине волны в системе WDM может передаваться мультиплексированный сигнал систем TDM.

Суть WDM состоит в том, что m информационных потоков переносятся каждый с помощью своей оптической несущей на длине волны от λ_1 до λ_m . При этом в одном окне прозрачности организуется не один оптический канал, как в традиционных ВОСП, а m оптических каналов (до 320 оптических каналов).

Первые системы WDM имели два канала в окнах 1310 и 1550 нм. Существующие сейчас многоволновые системы содержат от 4 до 320 волновых каналов. При этом частотный интервал между каналами может быть: 1000 ГГц (4 канала); 600 ГГц (6 каналов); 400/500 ГГц (8 каналов); 400 ГГц (9 каналов); 200 ГГц (18 каналов); 100 ГГц (41 канал); 50 ГГц (64 канала); 25 ГГц (132 канала) и т.д. (таблица 7.2 - Принципы выбора оптических несущих)

Для указанных частотных интервалов принята следующая система обозначений способов мультиплексирования (таблица 8.1):

- WDM (Wavelength Division Multiplexing) – волновой способ мультиплексирования для числа каналов не более 16 в диапазоне от 1530 до 1565 нм (3 окно прозрачности);

- DWDM (Dense WDM) – плотное волновое мультиплексирование для числа каналов не более 64 в диапазоне от 1470 до 1610 нм;

- HDWDM (High Dense WDM) – высокоплотное волновое мультиплексирование с числом каналов более 64 в диапазоне от 1470 до 1610 нм;

- CWDM (Coarse WDM) – крупное (расширенное) волновое мультиплексирование для каналов в различных окнах прозрачности стекловолокна с интервалом между каналами не менее 20 нм.

Таблица 1 - Классификация многоволновых систем

Система	частотный интервал, ГГц, не более	число оптических каналов	Диапазон, нм	Ширина спектра, нм
WDM	200-1000	меньше 16	1530-1565	35
DWDM	100	меньше 64	1470-1610	140
HDWDM	25-50	больше 64	1470-1610	140
CWDM	2500	16	1290-1610	320

Канальный план CWDM представляет из себя сетку частот, распределённую следующим образом (рисунок 1 и таблица 2):

- полоса O – 1290, 1310, 1330 и 1350 (2 окно прозрачности);
- полоса E – 1380, 1400, 1420 и 1440 (5 окно прозрачности);
- полоса S+C+L в диапазоне 1470 – 1610 нм через 20 нм (рисунок 1) всего 8 длин волн (3 и 4 ОП) [2].

Таблица 2 - Диапазоны длин волн для CWDM

Q - диапазон	1260-1360 нм	Основной
E - диапазон	1360-1460 нм	Расширенный
S - диапазон	1460-1530 нм	Коротковолновый
C - диапазон	1530-1565 нм	Стандартный
L - диапазон	1565-1625 нм	Длинноволновый
U - диапазон	1625-1675 нм	сверхдлинны

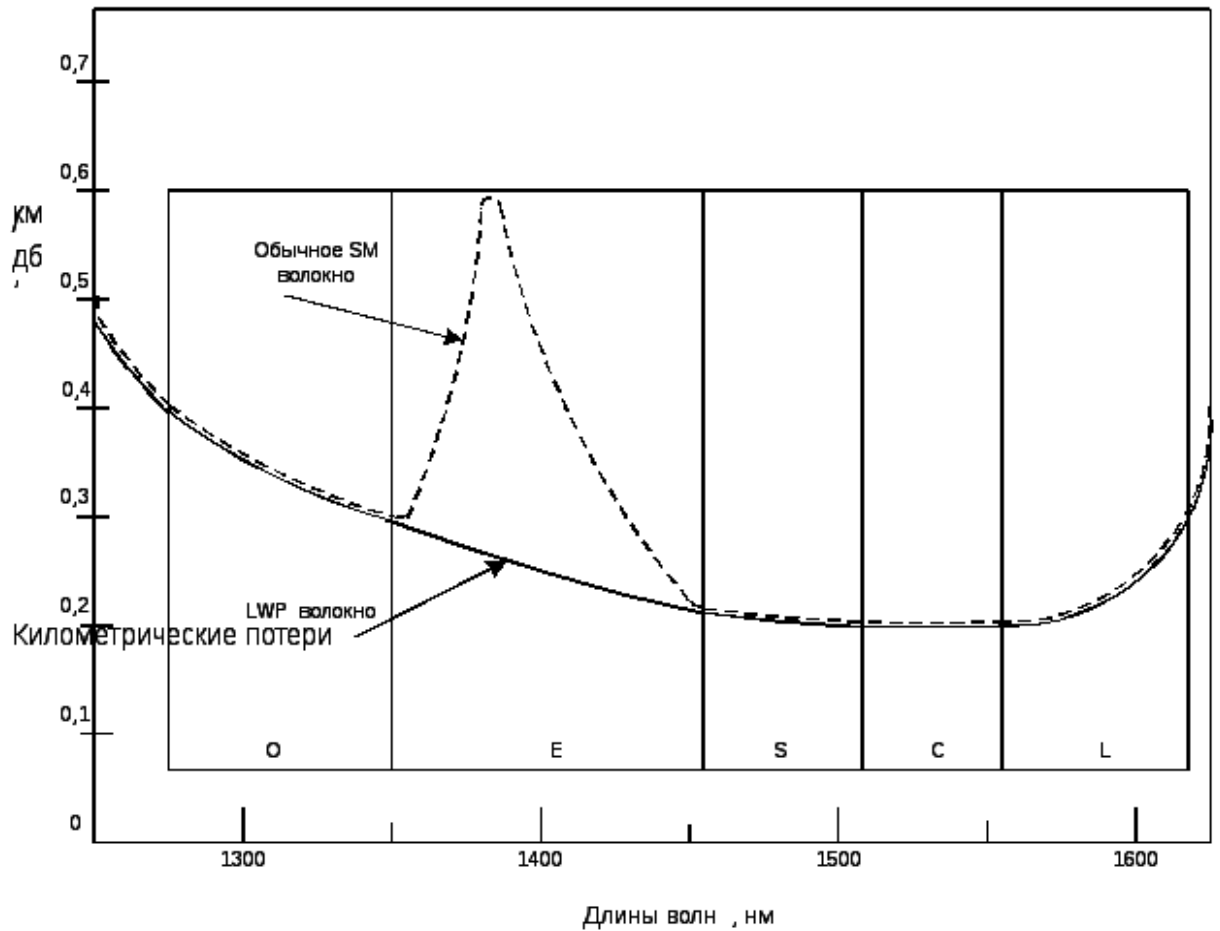


Рисунок 1 – Характеристика затухания LWP-волокна (Low Water Peak) с расширенным спектром пропускания от ведущего мирового производителя - компании Fujikura

Преимуществом систем CWDM является относительно невысокая цена оборудования. Это объясняется большим частотным интервалом между соседними оптическими каналами. По этой причине снижены требования к компонентам системы: лазерам, оптическим фильтрам и т. д. Системы HDWDM имеют очень маленький интервал между оптическими каналами. Это увеличивает требования к компонентам системы. В системах HDWDM на 273, 320 оптических каналов используют специальные оптические волокна из сверхчистого стекла и рамановские усилители для увеличения дальности связи, что удорожает стоимость аппаратуры HDWDM.

2.1 Структурная схема ВОСП-WDM

Структурная схема ВОСП-WDM приведена на рисунке 2.

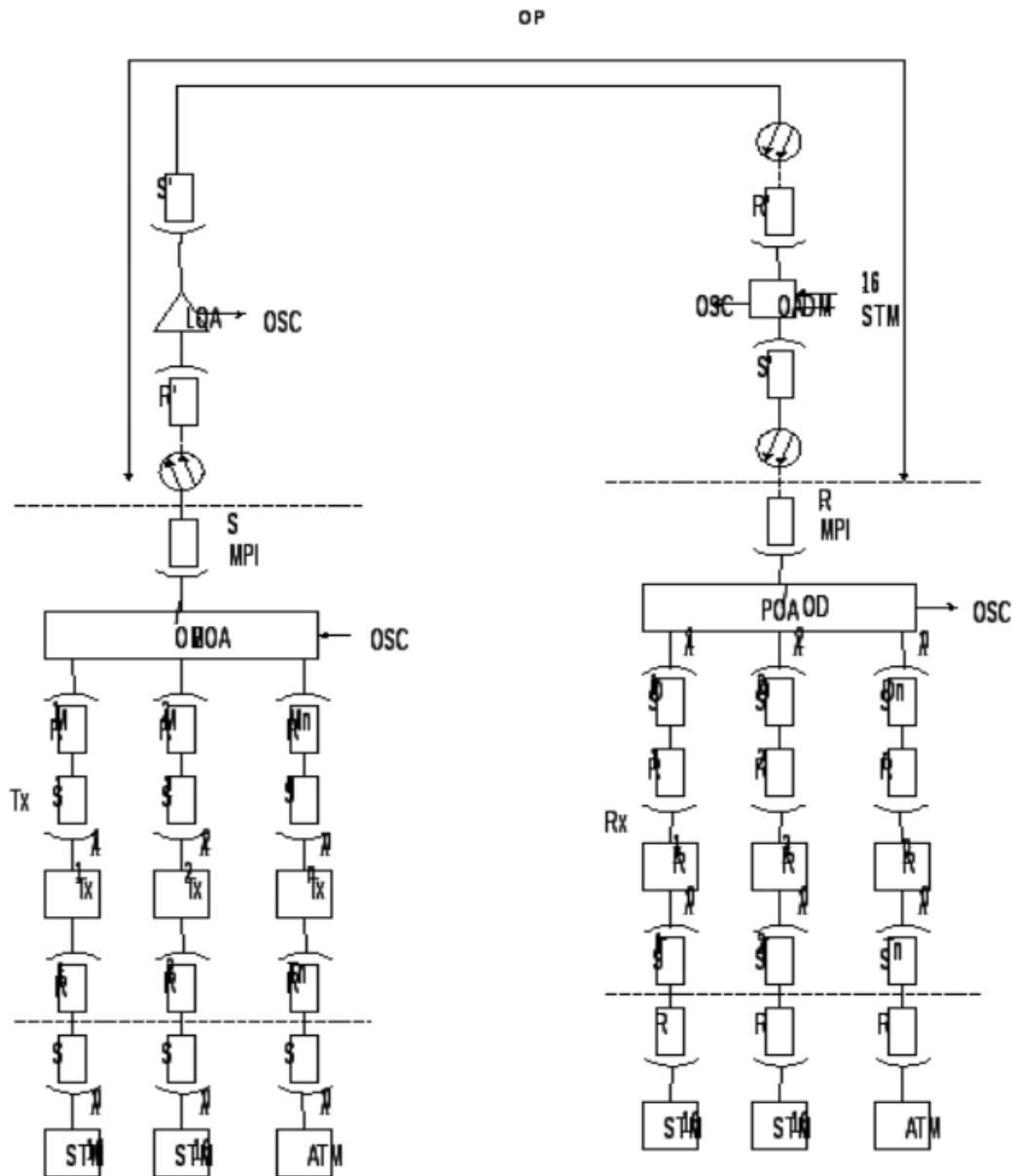


Рисунок 2 – Структурная схема ВОСП-WDM

Здесь T_{xi} и R_{xi} ($i=1,2,\dots,n$) передающие и приемные транспондеры (приемопередатчики) каждого канала N -канальной ВОСП-WDM, OM- оптический мультиплексор, OA- оптический усилитель, OD- оптический демультиплексор, R_{Ti} - контрольные точки (интерфейсы) на входе передающих транспондеров, S_{Ti} - контрольные точки на выходах приемных транспондеров, S_1-S_n - контрольные точки на ОБ, на выходе оптических соединителей (OSC) передающих транспондеров, для каналов $1\dots n$, MPI-S- кон-

трольная точка (интерфейс) ОВ сразу после блока ОМ/ОА на выходе ОС, S' - контрольная точка сразу после линейного оптического усилителя LOA на выходе ОС на выходе ОС, R' - контрольная точка на ОВ перед линейным оптическим усилителем, на входе ОС, MPI-R - контрольная точка (интерфейс) перед оптическим усилителем POA на входе оптического демультиплексора (OD), на входе тракта приёма ОС, S_{D1}-S_{Dn} - контрольные точки на выходе блока ОА/ OD, OSC - точки подключения оптического служебного канала, OADM - мультиплексор ввода-вывода оптических каналов, S, R – интерфейсы на выходе передатчиков и входе приемников аппаратуры STM-N (N=16 или 64), или ATM.

Структурная схема ВОСП-WDM содержит оптический передатчик (Т_X), оптический приемник (R_X) и главный оптический тракт (ОР).

Оптический передатчик содержит каналные приемопередатчики (транспондеры) Т_{X1} - Т_{Xn} которые преобразуют длину волны STM-N (или ATM) λ_0 в длины волн спектра оптических каналов λ_1 - λ_n .

На выходе Т_{Xi} образуются каналные сигналы и их спектры объединяются с помощью оптического мультиплексора (ОМ), на выходе которого образуется групповой сигнал, спектр которого содержит суммарный спектр каналных сигналов:

$$\Delta f_{\text{гс}} = \Delta f_{\text{кс}} + (n-1) \Delta f_{\text{нчр}}, \quad (1)$$

где $\Delta f_{\text{гс}}$ - спектр группового сигнала;

$\Delta f_{\text{кс}}$ - спектр канального сигнала;

$\Delta f_{\text{нчр}}$ - номинальное частотное разнесение каналов (НЧР).

Принципы выбора оптических несущих каналов $f=c/\lambda$ ($i=1,2,\dots,n$), разнесения между каналами приведены в таблице 3.

Групповой сигнал усиливается оконечным оптическим усилителем ВОА (бустером), с помощью которого в интерфейсе MPI-S устанавливается необходимая общая средняя мощность линейного сигнала.

Главный оптический тракт (ОР) содержит линейные оптические усилители (LOA), компенсирующие затухание, вносимое участками оптических волокон длиной $l_1 \dots l_i \dots l_k$. вместо любого усилителя может быть включен мультиплексор ввода/вывода каналов

OADM с такими же интерфейсами S' и R, как и у оптического усилителя.

Приемник (R_x) содержит предварительный оптический усилитель (POA), усиливающий линейный сигнал, демультиплексор (DM), разделяющий групповой сигнал на каналные сигналы, приемные транспондеры R_{xi} , преобразующие длины волн λ_1 - λ_n в длину волны λ_0 , соответствующую STM-N или ATM.

Оптический служебный канал (OSC) организуется на длине волны, лежащей вне диапазона спектра WDM. OSC вводится и выводится как в оптических передатчике и приемнике, так и в линейных усилителях, и в мультиплексорах, и в мультиплексорах ввода/вывода (OADM) оптического тракта [1].

2.3 Основные элементы многоволновых систем

Система DWDM в общем случае состоит из одного или нескольких лазерных передатчиков, мультиплексора, одного или нескольких усилителей EDFA, мультиплексоров ввода/вывода, оптического волокна (кабеля), демультиплексора и соответствующего числа фотоприемников.

Передатчик для одного канала обычно представляет собой лазер с распределенной обратной связью DFB с выходной мощностью в волокне не менее 0 дБм (1 мВт) и модулятор. При высоких частотах модуляции модулятор обычно внешний. Современная интегральная оптика позволяет создавать недорогие и удобные в эксплуатации оптические передающие модули, объединяющие в одном кристалле лазер, модулятор и полупроводниковый усилитель. Разработаны оптические передающие модули, объединяющие мультилазеры, одновременно генерирующие сигналы на нескольких длинах волн, мультиплексор и полупроводниковый оптический усилитель мощности.

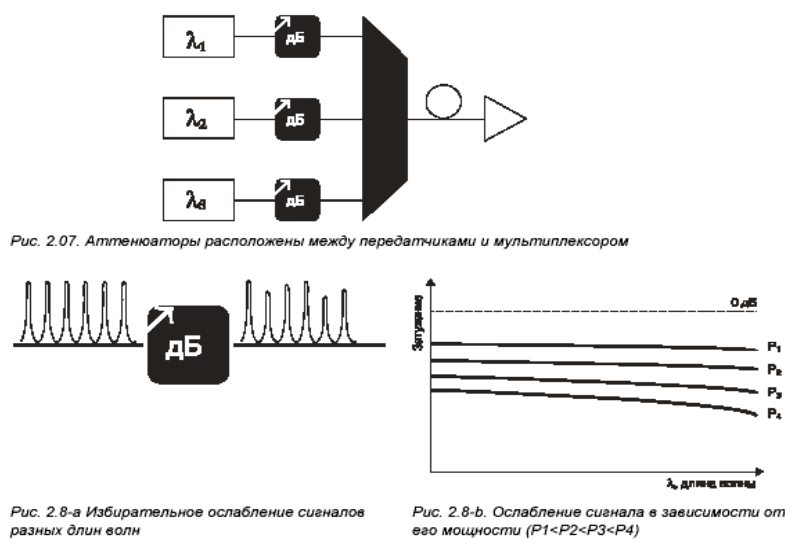


Рисунок 3 - Применение оптических аттенюаторов

Иногда за лазером устанавливают регулируемый аттенюатор (рисунок 3), плавно уменьшающий мощность лазера. Избирательное (по длинам волн) ослабление мощности часто требуется и для того, чтобы "выровнять" спектр сигнала на входе в усилителя EDFA и обеспечить равномерное усиление для всех каналов.

Хроматическая дисперсия приводит к уширению оптических импульсов по мере их распространения по волокну. При большой протяженности линии связи это проявляется в том, что близко идущие импульсы начинают перекрываться, ухудшая сигнал. Устройства компенсации дисперсии DCD (Dispersion Compensation Devices) придают сигналу равную по величине, но противоположную по знаку дисперсию и восстанавливают первоначальную форму импульсов.

Компенсатор дисперсии зачастую представляет собой просто отрезок оптического волокна, материал которого обладает аномальной хроматической дисперсией на рабочей длине волны. Его дисперсия отрицательная, в то время как среда основного волокна имеет положительную дисперсию. Величина удельной дисперсии компенсатора, приходящаяся на единицу длины, гораздо больше удельной дисперсии основного (компенсируемого) волокна. Это позволяет обходиться относительно короткими отрезками волокна для компенсации дисперсии в обычном волокне на значительных расстояниях, Компенсация дисперсии может также осуществляться

с помощью дискретных компонентов, таких как брэгговские дифракционные решетки.

Своими успехами технология DWDM во многом обязана достижениям в разработке усилителей на оптическом волокне, легированном эрбием EDFA а также рамановских и полупроводниковых усилителей.

В последнее время на рынке появляются системы DWDM, которые разработаны специально для городских и региональных сетей MAN (Metropolitan Area Networks). Такие сети (DWDM MAN) исключительно надежны и могут поддерживать кольцевую и ячеистую топологию сети на оптическом уровне. Переключение на резервные каналы и маршруты в случае необходимости происходит значительно быстрее, чем в сетях SDH, что расширяет возможности передачи потоков голоса, видео и данных. В настоящее время стало возможным предоставление абонентам в аренду отдельных длин волн в волокне.

Развитие технологии DWDM позволяет надеяться, что рано или поздно будут созданы и начнут использоваться на практике полностью оптические сети AON (All Optical Network), в которых оптические сигналы не будут преобразовываться в электрическую форму на промежуточных узлах.

По мере разработки более эффективных методов борьбы с различными оптическими явлениями, ограничивающими максимальную скорость передачи волоконно-оптических сетей связи (поляризационно-модовая дисперсия, хроматическая дисперсия и особенно нелинейные эффекты), появляется возможность постепенного увеличения числа каналов и скорости передачи систем WDM. Практически сегодня не возникает сомнения, что будущее многоканальной связи за системами DWDM. DWDM представляет массу возможностей для дальнейшей модернизации связи, например, часть спектральных каналов DWDM, можно использовать видео, часть каналов под передачу данных, часть для речи, часть для сотовых систем т.е. распределить различные сервисы по волновым диапазонам. Ниже приведённые даты ярко свидетельствуют о стремительном развитии оборудования многоволновых систем:

1993 г. – начало практического использования оптических усилителей;

1995 г. – начало практического использования ВОСП с WDM;
1997 г. – разработка оптических мультиплексоров адресного ввода-вывода (OADM);

1998-2000 г. – создание систем DWDM и HDWDM;

2000 г. – практическое использование систем CWDM;

2002 г. – появление DWDM-системы с пропускной способностью 1,6 Тбит/с;

2003 г. – применение DWDM-системы с пропускной способностью 11 Тбит/с.

В таблице 3 представлено оборудование многоволновых систем для супермагистралей, имеющее максимальную производительность, выпускаемое зарубежными фирмами в 20013 году.

Таблица 3 - оборудование многоволновых систем для супермагистралей, имеющее максимальную производительность

Фирма	Наименование комплекса	TDM Максимальный уровень	DWDM наименование	DWDM Скорость, Гбит/с
Alcatel	Optinex	STM-256	1640 WM	2400
CIENA	MultiWave	STM-64	CoreStream	2000
ECI	LightScape	STM-64	XDM-2000	800
Huawei	OptiX	STM-64	BWS 1600	1600
Lucent	WaveStar	STM-256	OLS-1,6 T	1600
NEC	Spektral Wave	STM-64	Spektral Wave 80CH	800
Nortel	OPTera	STM-256	LH 1600	1600
Siemens	TransXpress	STM-256	MTS-2	3200

5 Основные направления развития

По мере разработки более эффективных методов борьбы с различными оптическими явлениями, ограничивающими максимальную скорость передачи волоконно-оптических сетей связи (поляризационно-модовая дисперсия, хроматическая дисперсия и особенно нелинейные эффекты), появляется возможность постепенного увеличения числа каналов и скорости передачи систем

WDM. Рост общей скорости передачи двояко влияет на поведение провайдеров на рынке услуг связи. С одной стороны, необходимость эффективного использования высокой пропускной способности приведет к большей централизации передачи данных. С другой стороны, рост производительности позволит повысить конкретизацию предлагаемых услуг и, в конечном счете, позволит предоставлять по требованию каждому пользователю канал с необходимой скоростью и надежностью.

Предсказать, как будут развиваться технологии, или хотя бы насколько долго и успешно будут использоваться существующие, практически невозможно. Тем не менее, можно предположить, что в ближайшем будущем важную роль в волоконно-оптической связи будут играть следующие методы и технологии (рисунок 4) [2].

	Прошлое	Настоящее	Будущее
Волокно	<ul style="list-style-type: none"> • Волокно с ненулевой смещенной дисперсией • Компенсация дисперсии 	<ul style="list-style-type: none"> • Волокно с управляемой дисперсией • Улучшенная компенсация дисперсии • Более низкие потери 	<ul style="list-style-type: none"> • Многоцветность • Сверхнизкие потери • Солитоны
Передача	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5 Тбит/с • 2,5 Гбит/с в канале (на длину волны) • 32 канала в системе DWDM 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2 Тбит/с • 40, 100 Гбит/с в канале • 128 каналов в системе DWDM 	<ul style="list-style-type: none"> • 2–5 Тбит/с • Свыше 100 Гбит/с в канале • Солитоны • Более 200 каналов в системе UDWDM
Управление полосой пропускания	<ul style="list-style-type: none"> • Электрическая передача • Асинхронная передача, SONET/SDH • Интерфейсы <10 Гбит/с • Уровень модульности STS (STM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Электрическая и оптическая передача • Многопротокольность, сетка частот ITU • Интерфейсы 10 Гбит/с STM-16, STM-64 • Уровень модульности STS (STM) • DCS 	<ul style="list-style-type: none"> • Оптическая передача • Многопротокольность, сетка частот ITU • Интерфейсы 40 Гбит/с • Уровень модульности STS-3c • Полностью оптическая коммутация

Рисунок 4 – Методы и технологии ВОЛС

Таким образом, в будущем представляется переход на скорости в 10 раз выше используемых, которые могут быть обеспечены непосредственно лишь в волоконных оптических средах передачи информации, в результате чего технологии будут совершенствоваться и создаваться новые более совершенные способные передавать информацию на заявленных скоростях.

1) Гуламов А.А. Конспект лекций Волоконная оптика в ТЛК / А.А. Гуламов: учебное пособие - Курск : ЮЗГУ, 2015. - 124 с.

2) П. Барабаш. Системы WDM: основные направления развития. [Электронный ресурс]: <http://infocom.uz>

3) Скляров, Олег Константинович. Волоконно-оптические сети и системы связи [Текст]: учебное пособие / О. К. Скляров. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 272 с.