

Одобрена Советом ФЭС

**Кафедра ЛС и ИТС**

Методическая разработка к лабораторной работе №31  
**«Измерение частотных параметров каналов системы WDM с  
помощью анализатора оптического спектра»**

Курс «Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах»  
специальность «МТС» 201000

Составили:

д.т.н., проф. Бурдин В.А.  
к.т.н., доц. Баскаков В.С.  
к.т.н., доц. Бурдин А.В.  
к.т.н., доц. Косова А.Л.

Редактор:

д.т.н., проф. Андреев В.А.

Рецензент:

проф. Иванов В.И.

Самара  
2004 г.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков измерения основных параметров передачи системы WDM по спектральной характеристике группового сигнала, полученной с помощью оптического анализатора спектра на выходе оптического мультиплексора.

## 2. ЛИТЕРАТУРА

- 2.1 Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. – М.: EXFO, 2001. / пер. с англ. под. ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. / Общая редакция А.В. Шмалько
- 2.2 Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671с.
- 2.3 Бурдин В.А. Основы моделирования кусочно-регулярных волоконно-оптических линий передачи сетей связи. – М.: Радио и связь, 2002. – 312 с.
- 2.4 Алексеев Е.Б. Стандартизация параметров ВОСП // Lightwave Russian Edition. – №2, 2003. – стр. 43 – 47.
- 2.5 Алексеев Е.Б. Стандартизация параметров и перспективы внедрения ВОСП со спектральным разделением каналов // Метрология и измерительная техника в связи. – 2002, №1.
- 2.6 DWDM Performance and Conformance Testing Primer / Tektronix. – 2001. – 62 p.
- 2.7 G. Farrell. Testing Dense Wavelength Multiplexed Systems / PX Instrument Technology.– 9 p.
- 2.8 Dense Wavelength Division Multiplexed (DWDM) Testing / Exfo, The International Engineering Consortium. – 19 p.
- 2.9 Keiser G. Optical Fiber Communications. McGraw-Hill, 2000.
- 2.10 [www.VPIphotonics.com](http://www.VPIphotonics.com)

## 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

- 3.1 Изучить основные методы выделения длины волны, применяемые в OSA.
- 3.2 Изучить принципы измерения частотных (спектральных) параметров каналов систем WDM.

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 4.1 OSA на основе интерферометрического метода выделения длины волны.
- 4.2 OSA на основе дифракционной решетки.

- 4.3 OSA на основе метода Фабри-Перо.
- 4.4 Перечислите основные характеристики OSA.
- 4.5 Чем отличается измерение длины волны спектрального максимума и центральной длины волны канала системы WDM?
- 4.6 Как определяется интервал между каналами? В чем отличие равномерных и неравномерных интервалов между каналами?
- 4.7 Порядок измерения полосы пропускания по заданному уровню.

## 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ VPIPLAYER

5.1 Данная лабораторная работа разработана на основе приложения к [2.9], включающего в себя цикл демонстрационных программ, представляющих собой, т.н. «страницы динамических данных» (Dynamic Data Sheets - DDS<sup>TM</sup>), созданных с помощью интерактивных систем, таких, как, например, VPItransmissionMaker<sup>TM</sup> компании VPIsystems Corp. [2.10]. В свою очередь, приложения DDS<sup>TM</sup> воспроизводятся с помощью программы VPIplayer<sup>TM</sup> [2.10].

Для разработки данной лабораторной работы использовалось приложение DDS<sup>TM</sup> к гл. 11 – 12 [2.9] «Dispersion Managed Sections». Указанная программа демонстрирует эффект ослабления влияния хроматической дисперсии на искажение оптического сигнала за счет применения волокон, компенсирующих дисперсию (DCF – Dispersion Compensating Fiber).

5.2 Программа VPIplayer<sup>TM</sup> предназначена для воспроизведения многофункциональных программ имитационного моделирования VPI систем. VPIplayer<sup>TM</sup> обеспечивает два режима работы:

- Интерфейс пользователя – эта часть программы включает в себя общий вид моделируемой схемы, позволяет пользователю изменять заданные параметры отдельных компонентов и запускать непосредственно сам процесс имитационного моделирования (рис. 5.1).
- Визуализаторы или оболочки приборов – эта часть программы представляет результаты моделирования исследуемой схемы в виде определенных характеристик, которые отображаются на экране оболочек соответствующих приборов. Например, спектральная характеристика оптического сигнала отображается на экране анализатора оптического спектра (OSA). В состав визуализатора входит набор стандартных команд, необходимых для анализа полученной характеристики. Например: масштабирование, управление маркерами и пр.

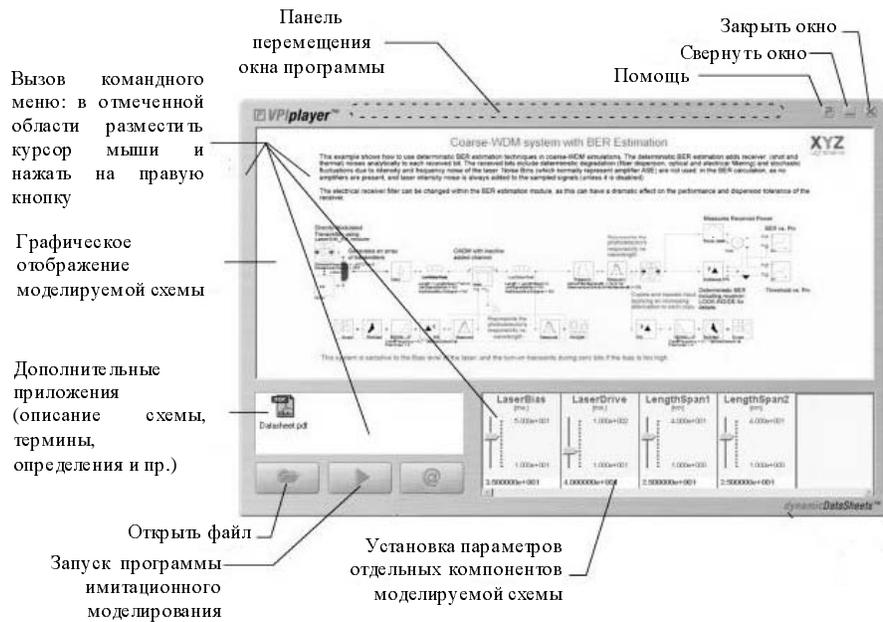


Рисунок 5.1. Интерфейс пользователя.

5.3 Установка параметров передачи компонентов схемы осуществляется следующим образом: необходимо подвести курсор к указателю на заданной шкале и, удерживая левую кнопку мыши, изменить его положение. Нажатие правой кнопки мыши в отмеченной области установки параметров вызывает команду «Set Default», последующее нажатие левой кнопки выполняет установку параметров по умолчанию.

5.4 Запуск процесса имитационного моделирования с последующим вызовом соответствующих визуализаторов осуществляется с помощью команды «Start Simulation» (рис. 5.1).

## 6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1 Данная лабораторная работа включает в себя анализ спектральной характеристики группового оптического сигнала 8-ми канальной системы WDM с частотным интервалом менее 50 ГГц и скоростью 10 Гбит/с в канале.

6.2 Структурная схема измерения спектральной характеристики группового оптического сигнала 8-ми канальной системы WDM представлена на рис. 6.1 и состоит из следующих компонентов: восемь источников оптического излучения (лазерные диоды - LD), 8-ми канальный оптический мультиплексор

(MUX), оптические усилители (OA), оптическое волокно (OB), волокно, компенсирующее дисперсию (DCF) и анализатор оптического спектра (OSA).

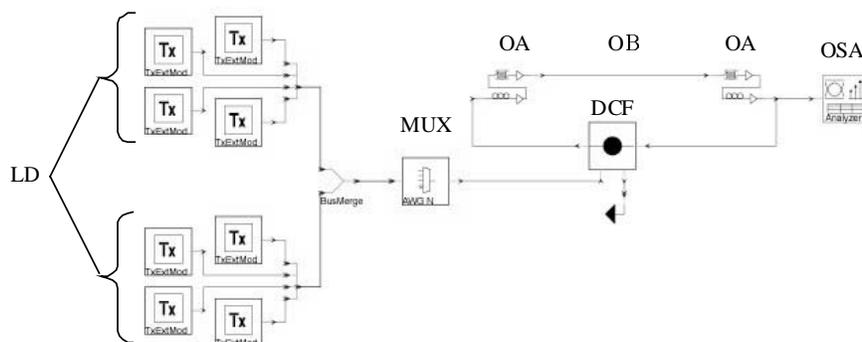


Рисунок 6.1. Схема измерений.

6.3 Перед запуском программы необходимо выполнить установку исходных данных (рис. 6.2): длину линейного тракта ВОЛП (SMFlength) 1...160 км, и коэффициент затухания OB (SMFattenuation) 0,2...0,4 дБ/км.

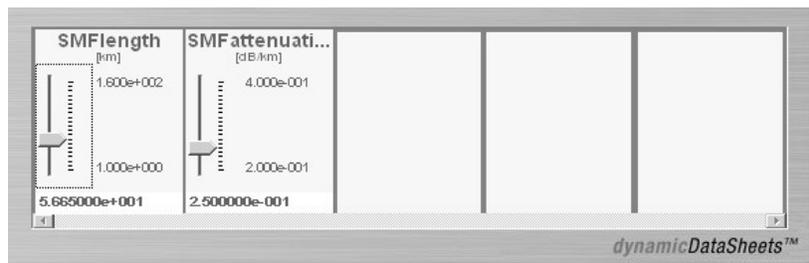


Рисунок 6.2. Исходные данные.

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

7.1 Согласно номеру бригады по таблице 7.1 определить исходные данные (длина линии SMFlength, км, и коэффициент затухания SMFattenuation, дБ) к выполнению лабораторной работы

Таблица 7.1.

№ бригады	1	2	3	4	5	6
SMFlength, км	56,65	40,75	72,55	104,38	80,50	64,60
SMFattenuation, дБ	0,20	0,21	0,22	0,38	0,36	0,34

7.2 Выполнить установку исходных данных, запустить программу построения спектральной характеристики группового оптического сигнала 8-ми канальной системы WDM (см. п. 5.3, 5.4). По завершении программы автоматически появляется оболочка OSA, внешний вид которой представлен на рис. 7.1.

7.3. Для увеличения обзора исследуемой спектральной характеристики отключите информационную таблицу расчета помехоустойчивости системы WDM отжав клавишу «Show/hide channel table panel» на верхней панели управления (рис. 7.2), после этого общий вид интерфейса оболочки OSA примет вид, представленный на рис. 7.3.

7.4 Активизируйте режим фильтрации (сглаживания) сигнала «Rect», согласно п. 2 Приложения 1.

7.5 Перейдите из частотной разметки оси абсцисс X к разметке по длинам волн  $\lambda$ , выполнив необходимые действия, приведенные в п. 3 Приложения 1.

7.6 Согласно схемам расстановки маркеров, представленным в Приложении 2, выполните измерение перечисленных в табл. 7.1 спектральных параметров заданного преподавателем канала исследуемой системы WDM в режиме фильтрации «Rect». Используйте операцию масштабирования, а также систему вертикальных/горизонтальных маркеров, управление которыми описано в п. 1,4,5 Приложения 1, соответственно.

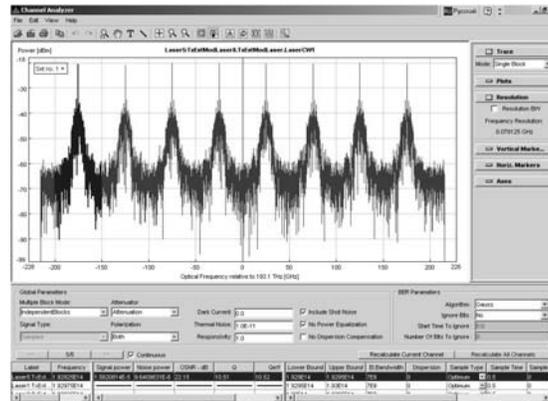


Рисунок 7.1. Внешний вид интерфейса оболочки OSA.



Рисунок 7.2. Отключение информационной таблицы

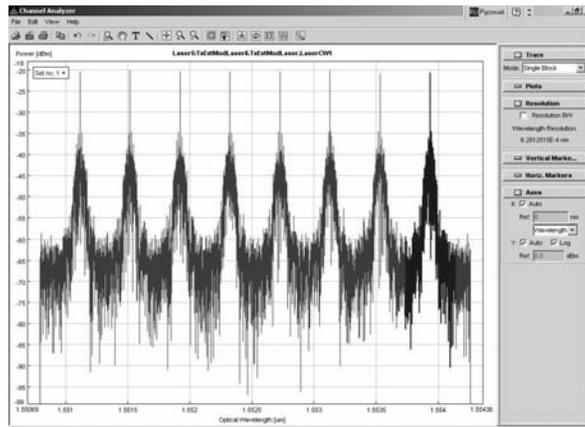


Рисунок 7.3. Внешний вид интерфейса оболочки OSA без информационной таблицы.

Таблица 7.1

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Условное обозначение
1	Длина волны спектрального максимума	нм	$\lambda_{\max, n}$
2	Верхняя длина волны отсечки	нм	$\lambda_{\text{upper}, n}$
3	Нижняя длина волны отсечки	нм	$\lambda_{\text{lower}, n}$
4	Центральная длина волны канала	нм	$\lambda_{0, n}$
5	Отклонение центральной длины волны канала	нм	$d\lambda_n$
6	Интервал между каналами	нм	$\Delta\lambda_{n, n+1}$
7	Полоса пропускания по уровню – 3 дБ	нм	$BW_{-3}$
8	Полоса пропускания по уровню – 10 дБ	нм	$BW_{-10}$
9	Полоса пропускания по уровню – 20 дБ	нм	$BW_{-20}$

7.7 Операция масштабирования, а также управление системой вертикальных/горизонтальных маркеров приведены в Приложении 1. Порядок расстановки маркеров при измерении спектральных параметров канала системы WDM представлен в Приложении 2. Так, например, для измерения длины волны спектрального максимума необходимо увеличить область максимума мощности исследуемого канала, установить один из вертикальных маркеров в точку, соответствующую максимуму мощности канала, при этом длина волны спектрального максимума будет соответствовать координате по оси абсцисс,

отображаемой в соответствующем информационном поле маркера (см. рис. 1, Приложение 2).

Таблица I.

параметр канала $n (n=1...8)$		Фильтр			
I	II	Rect. III	Gauss IV	Комбин. V	Выкл. VI
$\lambda_{\max,n}$ , HM	1				
	2				
	3				
	8				
	5				
	6				
	7				
	8				
$\lambda_{upper,n}$ , HM	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$\lambda_{lower,n}$ , HM	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$\lambda_{0,n}$ , HM	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$d\lambda_n$ , HM	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				

Таблица I (продолжение)

I	II	III	IV	V	VI
$\Delta\lambda_{n,n+1}, \text{HM}$	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$\Delta\lambda_{n,n-1}, \text{HM}$	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$BW_{-3}, \text{HM}$	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$BW_{-10}, \text{HM}$	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
$BW_{-20}, \text{HM}$	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				

7.8 Результаты измерений спектральных параметров исследуемого канала занесите в таблицу I, при этом отклонение центральной длины волны канала  $d\lambda_n$  определяется относительно частотного плана ГТУ, представленного в Приложении 3.

7.9 Повторите измерения перечисленных параметров исследуемого канала, используя режимы гауссов фильтр «Gauss» (Приложение 1, рис. 3 (в)), комбинированный фильтр (Приложение 1, рис. 3 (г)) и при отключенном режиме фильтрации (рис. 1(а)). Результаты измерений сведите в Таблицу I. Количество анализируемых каналов соответствует числу человек в бригаде.

7.10 Согласно полученным данным, для каждого из каналов рассчитайте среднее значение, максимальную абсолютную погрешность и максимальную относительную погрешность для соответствующих спектральных параметров исследуемого канала, измеренных в различных режимах сглаживания сигнала. Результаты сведите в таблицу II.

Таблица II

параметр канала $n (n=1...8)$		Среднее значение $\bar{I}_n$	$\Delta_{max, n}$	$\delta_{max, n} \%$
I	II	III	IV	V
$\lambda_{max, n}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$\lambda_{0, n}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$d\lambda_n, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			

Таблица II (продолжение)

I	II	III	IV	V
$\Delta\lambda_{n,n+1}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$\Delta\lambda_{n,n-1}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$BW_{-3}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$BW_{-10}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
$BW_{-20}, \text{HM}$	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			

*Примечание:* абсолютная погрешность оценивается как максимальное отклонение от среднего значения; относительная – как отношение абсолютной к среднему значению. Соответственно, при заполнении таблицы II воспользуйтесь формулами (7.1)...(7.3). Для канала  $n$  среднее значения заданного параметра  $I_n$  определяется как

$$\overline{I_n} = \frac{I_{n,Rect} + I_{n,Gauss} + I_{n,comb} + I_{n,off}}{4}, \quad (7.1)$$

где  $I_{n,Rect}$  - параметр  $n$ -го канала, измеренный в режиме фильтрации «Rect» (полосовой фильтр);

$I_{n,Gauss}$  - параметр  $n$ -го канала, измеренный в режиме фильтрации «Gauss» (гауссов фильтр);

$I_{n,comb}$  - параметр  $n$ -го канала, измеренный в комбинированном режиме фильтрации (комбинированный фильтр);

$I_{n,off}$  - параметр  $n$ -го канала, измеренный при отключенном режиме фильтрации.

Величина  $\Delta_{max, n}$  определяется как максимальное отклонение измеренных значений  $I_n$  от среднего  $\overline{I_n}$ :

$$\Delta_{max, n} = \max \left\{ \begin{array}{l} |I_{n,Rect} - \overline{I_n}| \\ |I_{n,Gauss} - \overline{I_n}| \\ |I_{n,Comb} - \overline{I_n}| \\ |I_{n,Off} - \overline{I_n}| \end{array} \right\}. \quad (7.2)$$

Соответственно, максимальная относительная погрешность измерения параметра  $n$ -го канала  $I_n$  определяется как отношение максимального отклонения к среднему значению:

$$\delta_{max, n} = \frac{\Delta_{max, n}}{\overline{I_n}} \cdot 100\%. \quad (7.3)$$

7.11 Выводы должны содержать результаты сравнительного анализа используемых режимов фильтрации при измерении параметров канала системы WDM по спектральной характеристике группового оптического сигнала с помощью OSA.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

### Основы работы с программным обеспечением OSA

#### 1. Масштабирование

Отдельный фрагмент спектральной характеристики может быть увеличен следующим образом: удерживая левую кнопку мыши необходимо выделить рамкой исследуемый фрагмент (рис. 1 (а)). Затем, после того, как кнопка будет отпущена, увеличенный фрагмент выводится на дисплей (рис. 1 (б)). В свою очередь, нажав правую кнопку мыши, можно оперативно обратно перейти к общему виду спектральной характеристики.

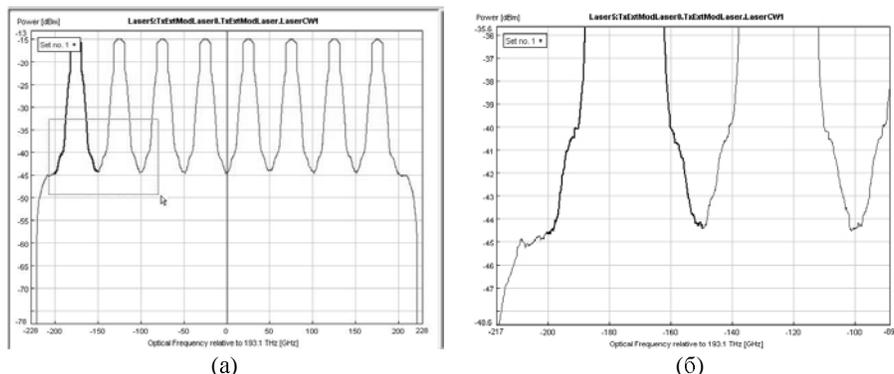


Рисунок 1. Увеличение фрагмента спектральной характеристики OSA.

Увеличить/уменьшить масштаб характеристики также можно с помощью соответствующих кнопок на панели управления: увеличение (“Zoom In”, рис. 2 (а)), уменьшение (“Zoom Out”, рис. 2 (б)) и переключение на общий вид характеристики (“Fit All”, рис. 2 (в)).

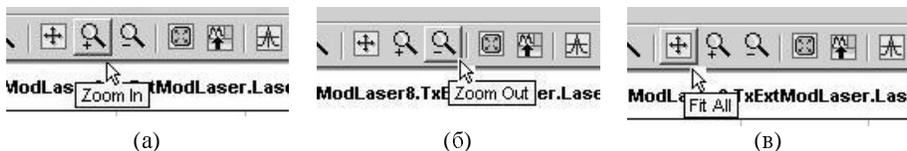


Рисунок 2. Панель управления. Режим масштабирования.

#### 2. Выбор режима сглаживания сигнала

В общем случае, реальная спектральная характеристика группового оптического сигнала достаточно сильно искажена (рис. 3 (а)), что существенно затрудняет определение параметров передачи системы WDM. Для сглаживания спектральной характеристики в программе оболочки OSA используются

различные режимы фильтрации. Чтобы перейти к выбору заданного фильтра, следует войти в меню «Resolution» на боковой панели управления OSA (рис. 3. (а)). Затем необходимо установить флажок в строке «Resolution BW», после чего появляется возможность выбора фильтра: полосовой фильтр («Rect.», рис. 3 (б)), гауссов фильтр («Gauss.», рис. 3 (в)) и комбинированный (рис. 3 (г)).

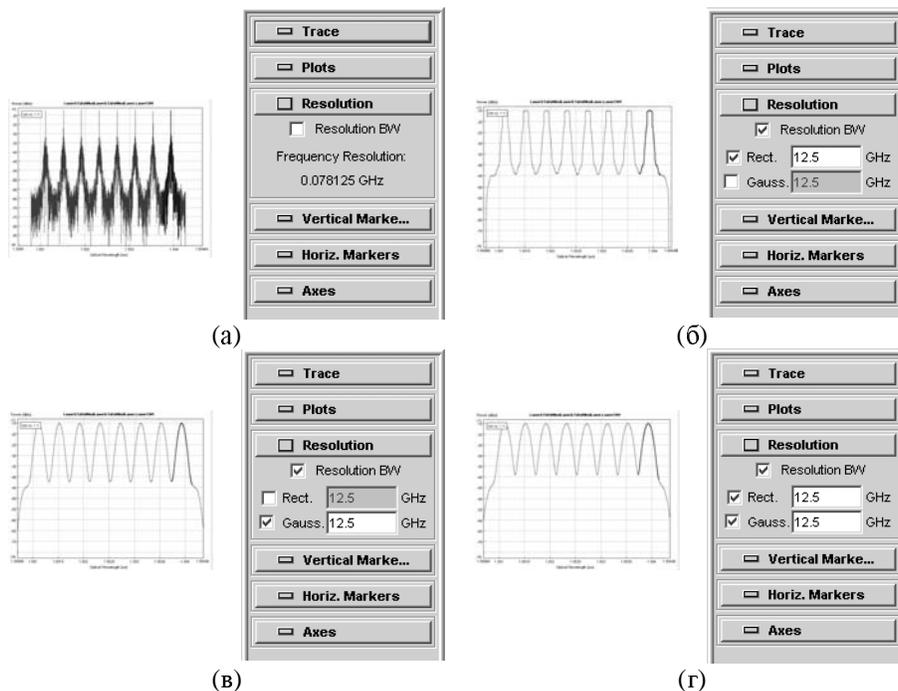


Рисунок 3. К выбору режима интерполяции.

### 3. Единицы измерения осей координат

Оболочка OSA позволяет оператору выбирать наиболее удобную для определения того или иного параметра системы WDM маркировку как по оси абсцисс (частота ТГц, длина волны мкм), так и по оси ординат (уровень мощности дБм, мощность мВт). Для выбора заданных единиц измерения необходимо войти в меню «Axes» на боковой панели управления (рис. 4 (а)). По умолчанию ось абсцисс маркируется в ТГц. Для перехода от частоты к длине волны мкм, необходимо выбрать из списка строки «X» позицию «Wavelength» (рис. 4 (б)). Установка флажка возле позиции «Log» включает маркировку в дБм по си ординат (рис. 4 (в)). Соответственно, для перехода от уровня мощности непосредственно к самой мощности, мВт, необходимо убрать указанный флажок. По умолчанию, разметка осей производится в автоматическом режиме «Auto» (рис. 4 (а) – (в)) относительно нуля. Оператор может сам за-

дать разметку осей, отключив режим «Auto» (для этого необходимо снять флажок) и затем в графе «Ref.», установив предварительно мышкой курсор, ввести с клавиатуры значение маркируемой величины, относительно которой будет выполнена разметка соответствующей оси (рис. 4 (г)).

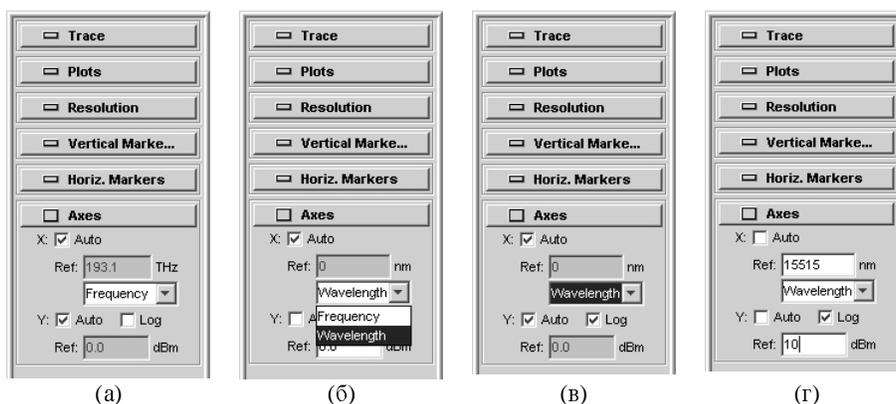


Рисунок 4. Разметка осей координат

#### 4. Управление вертикальными маркерами

Для управления вертикальными маркерами необходимо войти в меню «Vertical Markers» (рис. 5 (а)). Активизация одного из двух маркеров «А» - «В» осуществляется путем переключения между соответствующими одноименными закладками. Для включения маркера необходимо нажать клавишу «Create» (рис. 5 (а)), после чего на дисплее появляется соответствующий маркер, а в одноименном информационном поле отображаются координаты его текущего положения (частота ТГц/длина волны нм и мощность мВт/уровень мощности дБ) (рис. 5 (б)).

Активизированный маркер можно перемещать по дисплею с помощью мыши, удерживая левую кнопку, либо используя клавиши управления движением маркера: «<<<», «>>>» - ускоренное перемещение и «<>», «><» - изменение положения маркера на одну точку дискретизации (рис. 5 (в)).

Перемещение маркеров «А» и «В» может осуществляться синхронно. Для этого необходимо установить флажок на позиции «Track» (рис. 5 (г)). Для отключения режима синхронного перемещения, соответственно, необходимо указанный флажок снять.

В графе «Δ» отображаются значения разности координат положения маркеров «А» и «В», соответственно (рис. 5 (г)).

Удаление маркера осуществляется путем нажатия клавиши «Delete» (рис. 5 (г)).

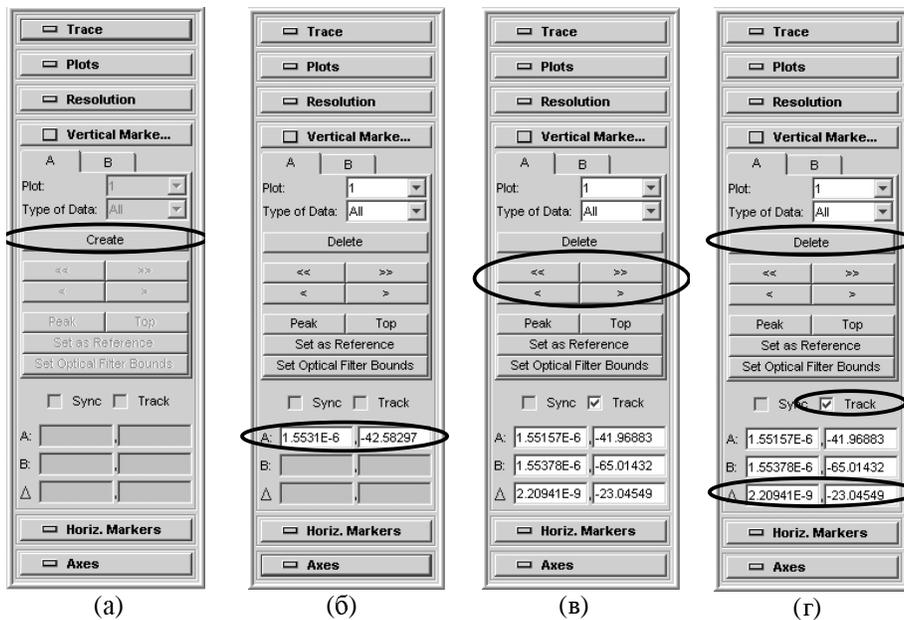


Рисунок 5. Управление вертикальными маркерами

### 5. Управление горизонтальными маркерами

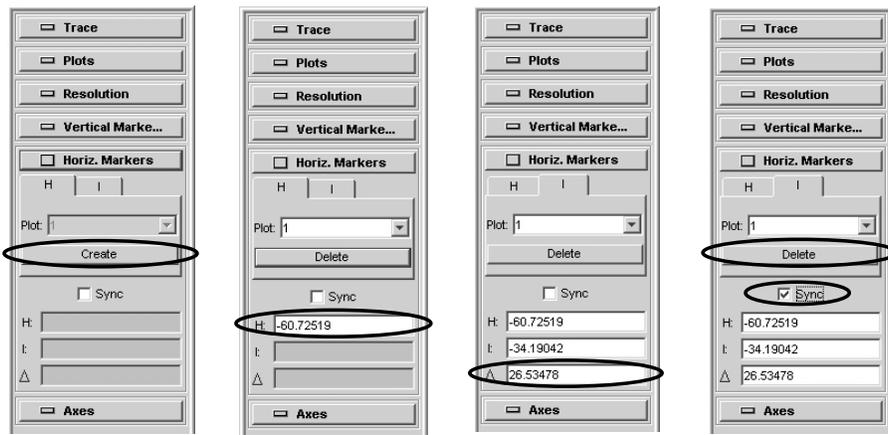
Для управления горизонтальными маркерами необходимо войти в меню «Horiz Markers» (рис. 6 (а)). Активизация одного из двух маркеров «Н» - «I» осуществляется путем переключения между соответствующими одноименными закладками. Для включения маркера необходимо нажать клавишу «Create» (рис. 6 (а)), после чего на дисплее появляется соответствующий маркер, а в одноименном информационном поле отображается координата его текущего положения (мощность мВт/уровень мощности дБ) (рис. 6 (б)).

Активизированный маркер можно перемещать по дисплею с помощью мыши, удерживая левую кнопку.

В графе «Δ» отображаются значения разности координат положения маркеров «Н» и «I», соответственно (рис. 6 (в)).

Перемещение маркеров «Н» и «I» может осуществляться синхронно. Для этого необходимо установить флажок на позиции «Sync» (рис. 6 (г)). Для отключения режима синхронного перемещения, соответственно, необходимо указанный флажок снять.

Удаление маркера осуществляется путем нажатия клавиши «Delete» (рис. 6 (г)).



(а) (б) (в) (г)  
Рисунок 6. Управление горизонтальными маркерами.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### Спектральные параметры каналов систем WDM

#### 1. Длина волны спектрального максимума

Длина волны спектрального максимума  $\lambda_{max,n}$  – это длина волны, на которой достигается максимальный уровень мощности сигнала в спектральном диапазоне исследуемого канала  $n$  (рис. 1).

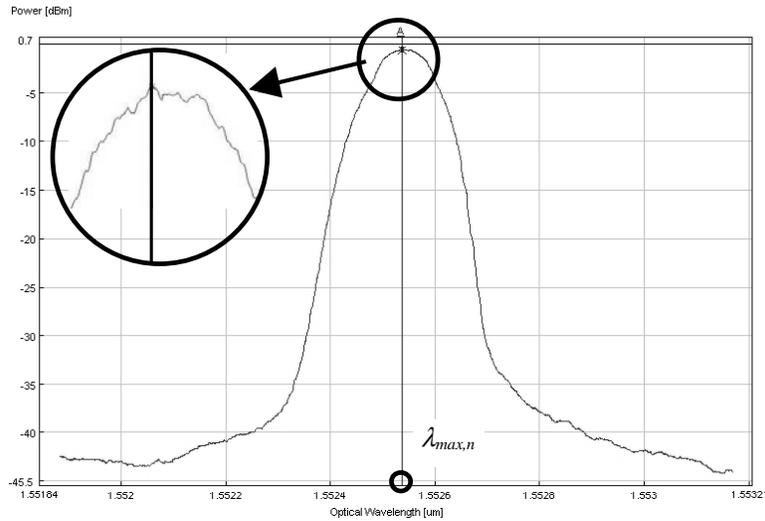


Рисунок 1 К оценке длины волны спектрального максимума

#### 2. Центральная длина волны канала

Центральная длина волны канала  $\lambda_{0,n}$  – это среднее арифметическое значение между верхней  $\lambda_{upper,n}$  и нижней  $\lambda_{lower,n}$  длины волны отсечки канала  $n$ :

$$\lambda_{0,n} = \frac{\lambda_{upper,n} + \lambda_{lower,n}}{2} \quad (1)$$

Длины волн отсечки – верхняя и нижняя – это длины волн, на которых вносимые потери достигают заданного уровня 3 дБ или, иными словами, определяются по уровню – 3 дБ относительно максимума (рис. 2).

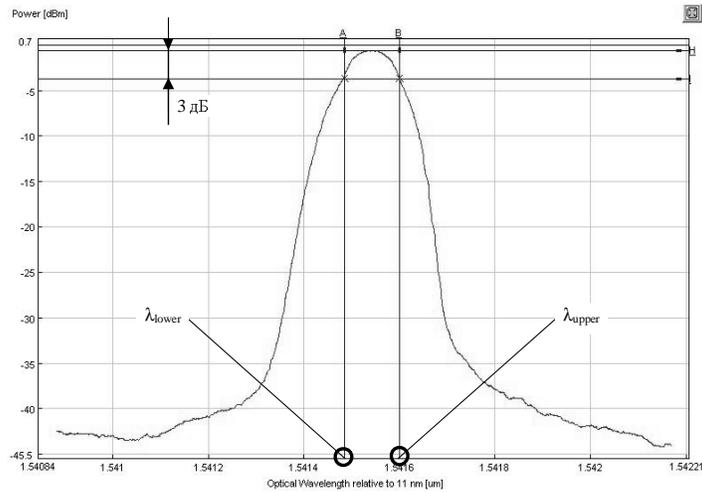


Рисунок 2. К оценке верхней и нижней длины волны отсечки

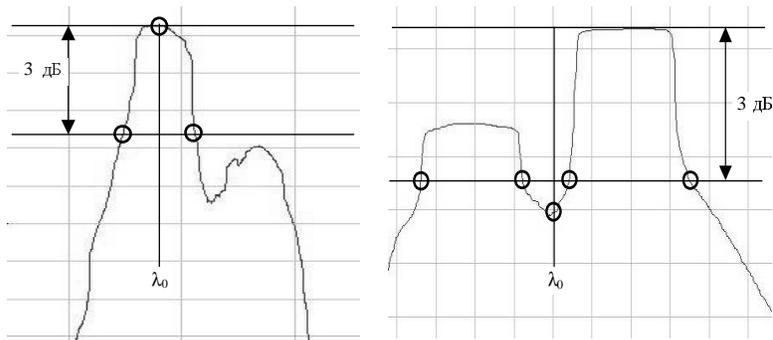


Рисунок 3. Влияние формы спектральной характеристики на положение центральной длины волны канала.

Для идеального симметричного спектра оптического канала центральная длина волны совпадает с длиной волны спектрального максимума. На практике спектральные кривые могут иметь более сложную форму, нередко содержащую несколько пиков. В этом случае длины волн отсечки определяются на «крыльях» кривой, а центральная длина волны может не совпадать с длиной волны спектрального максимума. Относительно слабые отклонения в форме спектра приводят к заметному изменению центральной длины волны. Тем не менее, длину волны передатчика стараются делать как можно ближе к номинальной длине волны частотного плана ITU.

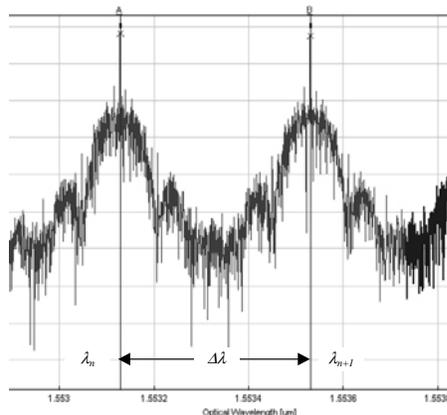


Рисунок 4. К оценке интервала между каналами.

### 3. Отклонение центральной длины волны канала

Отклонение центральной длины волны канала  $d\lambda_n$  определяется как разность между номинальной длиной волны канала частотного плана ITU и действительной. Основными причинами несовпадения  $\lambda_0$  с частотным планом ITU являются: чирп-эффект источника оптического излучения, влияние ширины полосы информационного сигнала, уширение спектра за счет эффекта самомодуляции фазы, старение лазера и влияние температуры окружающей среды.

### 4. Интервал (расстояние) между каналами

Интервал между каналами  $\Delta\lambda$  определяется как разность между центральными длинами волн  $\lambda_0$  соседних каналов (рис. 4):

$$\Delta\lambda = \lambda_{0,n+1} - \lambda_{0,n} \quad (2)$$

Интервал между каналами должен соответствовать частотному плану системы WDM. В существующих системах используются как равномерные, так и неравномерные частотные планы каналов.

Неравномерные интервалы между каналами в основном используются для снижения нелинейного эффекта четырехволнового смешения, когда в результате нелинейного взаимодействия излучения в волокне на двух и более частотах возникают сигналы с новой частотой. При равномерных интервалах между каналами новый паразитный сигнал может совпасть по частоте с существующими сигналами других каналов и тем самым привести к возникновению перекрестных помех. При неравномерных интервалах между каналами четырехволновое смешение приводит к дополнительным шумам на длинах волн, не используемых для передачи полезного сигнала.

**5. Полоса пропускания по уровню – 3 дБ (и другим пороговым уровням: – 10 дБ; – 20 дБ или ниже)**

Полоса пропускания  $BW$  – это та часть спектра передаваемого оптического сигнала, в пределах которой все спектральные составляющие превышают некоторый заданный пороговый уровень. Данная величина определяет спектральный диапазон, в пределах которого устройство может быть эффективно использовано (рис. 5).

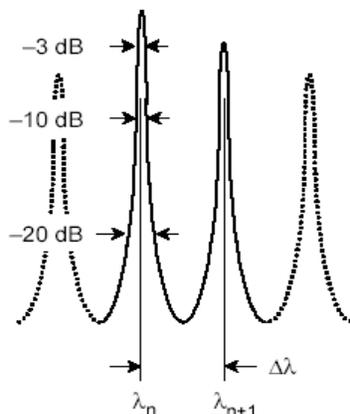


Рисунок 5. К оценке полосы пропускания  $BW_{-3}$ ,  $BW_{-10}$ ,  $BW_{-20}$

Определение полосы пропускания при двух и более пороговых уровнях позволяет показать ее форму на краях, которая обычно зависит от порядка используемого фильтра. Значения ширины полосы пропускания при очень большом затухании (– 20, – 30 дБ) полезны для прогнозирования уровня возможных перекрестных помех в соседних каналах систем WDM. Конкретное пороговое значение ширины полосы пропускания зависит от степени изоляции соседних каналов, необходимой для отдельных сетевых приложений.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

**Сводная таблица центральных длин волн (частот) 8-ми и более  
канальных систем WDM, согласно частотному плану ITU**

Частотный план ITU		Расстояние между оптическими каналами (при числе каналов $n$ не менее 8), ГГц						
частот, ТГц	длин волн, нм	ОВ NZDSF			ОВ DSF			
		100 ( $n \geq 8$ )	200 ( $n \geq 4$ )	500 /400 ( $n=8$ )	100 ( $n \geq 8$ )	200 ( $n \geq 4$ )	200 ( $n=4$ или 8)	
					Неравные значения расстояния со смещением от сетки частот		Неравные значения расстояния со смещением от сетки частот на: 25 ГГц    50 ГГц	
196.1	1528.77	*	*		*			
196.0	1529.55	*			*			
195.9	1530.33	*	*		*	*		
195.8	1531.12	*			*			
195.7	1531.90	*	*		*	*		
195.6	1532.68	*			*			
195.5	1533.47	*	*	*	*	*		
195.4	1534.25	*			*			
195.3	1535.04	*	*		*	*		
195.2	1535.82	*			*			
195.1	1536.61	*	*		*	*		
195.0	1537.40	*			*			
194.9	1538.19	*	*		*	*		
194.8	1538.98	*		*	*			
194.7	1539.77	*	*		*	*		
194.6	1540.56	*			*			
194.5	1541.35	*	*		*	*		194.45
194.4	1542.14	*			*			
194.3	1542.94	*	*	*	*	*		194.20
194.2	1543.73	*			*			
194.1	1544.53	*	*		*	*		
193.0	1545.32	*			*			
193.9	1546.12	*	*	*	*	*	*	
193.8	1546.92	*			*			
193.7	1547.72	*	*		*	*	193.675	*
193.6	1548.51	*			*			
193.5	1549.32	*	*		*	*	193.525	
193.4	1550.12	*		*	*			
193.3	1550.92	*	*		*	*	193.350	*

193.2	1551.72	*			*			
193.1	1552.52	*	*		*	*	*	*
193.0	1553.33	*		*	*			
192.9	1554.13	*	*		*	*	*	
192.8	1554.94	*			*			
192.7	1555.75	*	*		*	*	192.625	192.750
192.6	1556.55	*			*			
192.5	1557.36	*	*	*	*	*	*	192.450
192.4	1558.17	*			*			
192.3	1558.98	*	*		*	*		
192.2	1559.79	*			*			
192.1	1560.61	*	*	*	*	*		

Корректор Вяткина С.С.  
Подписано в печать \*\*.\*\*.2004 Формат 60x84/16  
Печать оперативная УС.п.л.-1,5 п.л. Уч.из.л. – 16 с.  
Цена договорная. Тираж 150 экз.

---

Ротапринт ПГАТИ