

Одобрена Советом ФЭС

Кафедра ЛС и ИТС

Методическая разработка к лабораторной работе №32
**«Измерение энергетических 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:
Рецензент:

д.т.н., проф. Андреев В.А.
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 линейного тракта ВОЛП перед входом оптического демультиплексора.

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

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

- 3.1 Изучить основные методы выделения длины волны, применяемые в OSA.
- 3.2 Изучить принципы измерения энергетических 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 Поясните термин «динамический диапазон OSA».
- 4.5 Что такое «чувствительность OSA»?
- 4.6 Что такое «разрешающая способность по полосе пропускания RBW»?
- 4.7 Порядок измерения мощности оптического сигнала в канале. Максимально допустимое значение мощности оптического сигнала в канале.
- 4.8 Порядок измерения оптического отношения сигнал/шум в канале *OSNR*. Нормируемые значения.
- 4.9 Как влияет разрешающая способность по полосе пропускания RBW на результаты измерения *OSNR* по спектральной характеристике группового сигнала, полученной с помощью OSA?

5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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 - DDSTM), созданных с помощью интерактивных систем, таких, как, например, VPItransmissionMakerTM компании VPIsystems Corp. [2.10]. В свою очередь, приложения DDSTM воспроизводятся с помощью программы VPIplayerTM [2.10].

Для разработки данной лабораторной работы использовалось приложение DDSTM 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 VPIplayerTM [2.10] предназначена для воспроизведения многофункциональных программ DDSTM интерактивного имитационного моделирования VPI систем. VPIplayerTM 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.

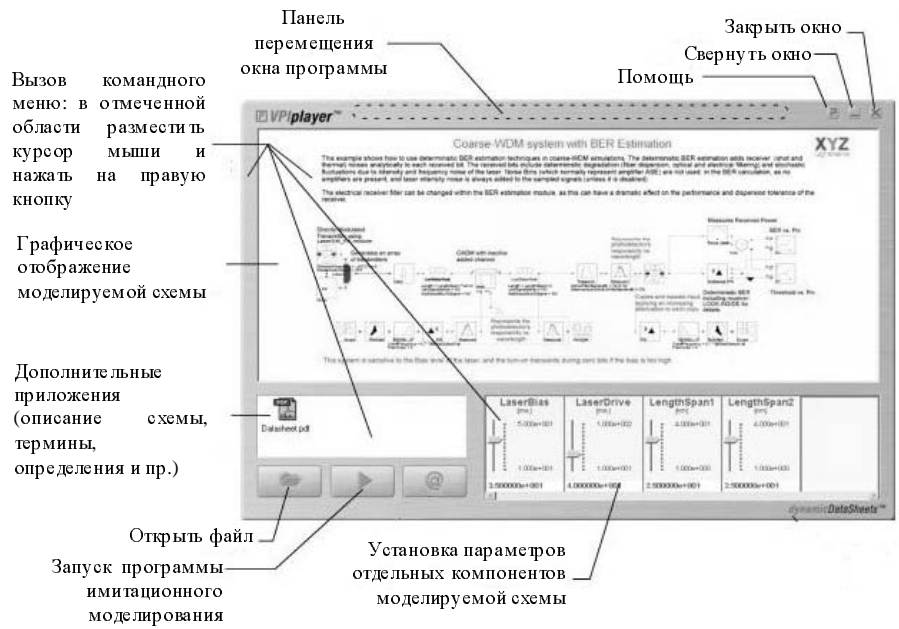


Рисунок 5.1. Интерфейс пользователя.

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) [2.9].

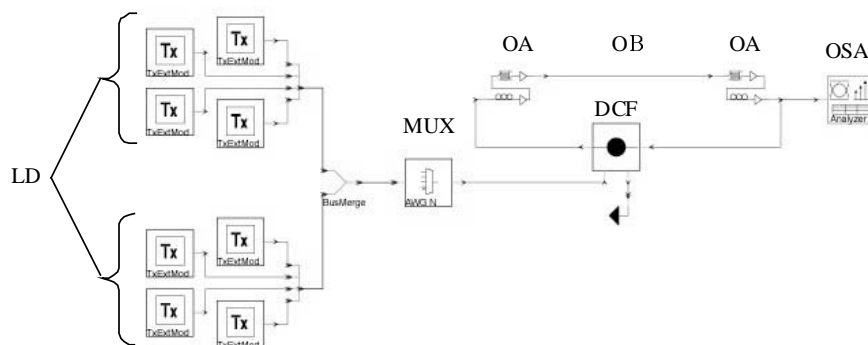


Рисунок 6.1. Схема измерений.

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.

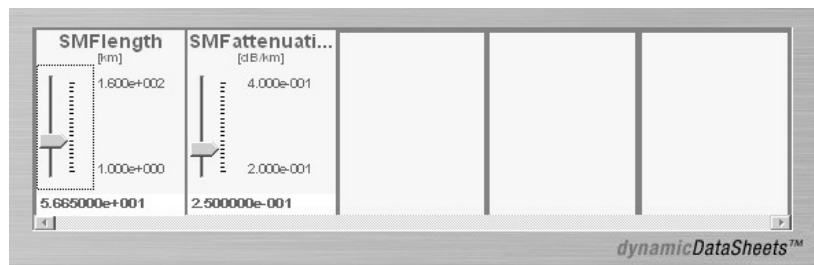


Рисунок 6.2. Исходные данные.

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 | 80,50 | 96,40 | 88,45 | 112,30 | 120,25 | 104,35 |
| SMFattenuation, дБ | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,22 |

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 λ , выполнив необходимые действия, приведенные в п. 3 Приложения 1.

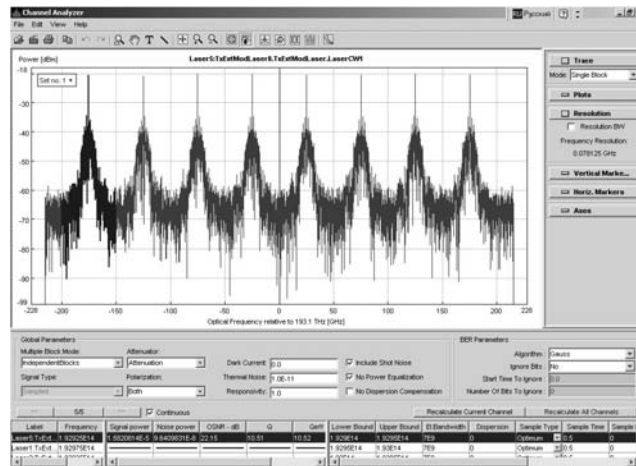


Рисунок 7.1. Внешний вид интерфейса оболочки OSA.

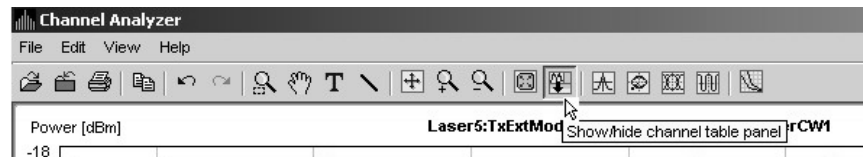


Рисунок 7.2. Отключение информационной таблицы

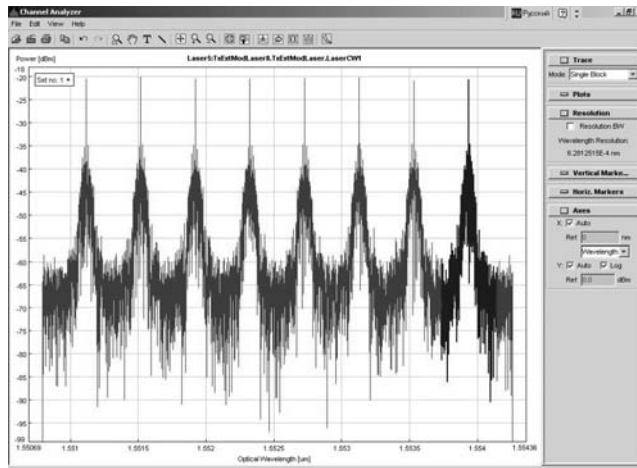


Рисунок 7.3. Внешний вид интерфейса оболочки OSA без информационной таблицы.

7.6 Согласно схемам расстановки маркеров, представленным в Приложении 2, выполните измерение перечисленных в табл. I (расшифровка условных обозначений представлена в Приложении 3.) энергетических 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.

Таблица I.

| параметр канала $n (n=1...8)$ | | Фильтр | | | |
|----------------------------------|----|--------|-------|---------|-------|
| | | Rect. | Gauss | Комбин. | Выкл. |
| I | II | III | IV | V | VI |
| $\lambda_{0,n}$, нм | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| p_n , дБ | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 8 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |

| I | II | III | IV | V | VI |
|-----------------------------------|----|-----|----|---|----|
| $P_{noise-\Delta\lambda}$, дБ | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| $P_{noise+\Delta\lambda}$, дБ | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |

7.7 Операция масштабирования, а также управление системой вертикальных/горизонтальных маркеров приведены в Приложении 1. Порядок расстановки маркеров при измерении энергетических, а также ряда спектральных параметров канала системы WDM представлен в Приложении 2. Так, например, для измерения уровня мощности оптического сигнала в канале необходимо увеличить область максимума мощности исследуемого канала, установить один из вертикальных маркеров в точку, соответствующую максимуму мощности канала, при этом измеряемая величина P_n будет соответствовать координате по оси ординат, отображаемой в соответствующем информационном поле маркера (см. рис. 1, Приложение 2).

7.8 Результаты измерений энергетических параметров исследуемого канала занесите в таблицу I.

7.9 Повторите измерения перечисленных параметров исследуемого канала, используя следующие 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 На основании полученных данных, согласно Приложению 1, заполните таблицу II.

7.11 Сравните полученное значение суммарной мощности в канале P_{Σ} с нормированным значением, представленным в п. 2 Приложения 2.

7.12 Сравните полученное значение максимума различия уровня мощности в канале Δp_{\max} с нормированным значением, представленным в п. 3 Приложения 2.

Таблица II

| параметр канала $n (n=1...8)$ | | Фильтр | | | |
|----------------------------------|----|--------|-------|---------|-------|
| | | Rect. | Gauss | Комбин. | Выкл. |
| I | II | III | IV | V | VI |
| P_n , мкВт | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| P_Σ , мкВт | | | | | |
| p_Σ , дБ | | | | | |
| $p_{кан}$, дБ | | | | | |
| Δp_{max} , дБ | | | | | |
| P_{noise} , дБ | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| $OSNR_n$, дБ | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |

7.13 Рассчитав по формуле (2) Приложения 2 максимально допустимое значение уровня мощности в канале $p_{кан}$, сравните с указанной величиной измеренные p_n .

7.14 Сравнить измеренное значение $OSNR_n$ с нормированной величиной, указанной в п. 4 Приложения 2.

7.15 Согласно полученным данным, для каждого из каналов рассчитайте среднее значение, максимальную абсолютную погрешность и максимальную относительную погрешность для соответствующих энергетических параметров исследуемого канала, измеренных в различных режимах фильтрации 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 |
| p_n , дБ | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |
| | 8 | | | |
| p_Σ , дБ | | | | |
| Δp_{max} , дБ | | | | |
| p_{noise} , дБ | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |
| | 8 | | | |
| $OSNR_n$, дБ | 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

$$\bar{I}_n = \frac{I_{n,Rect} + I_{n,Gauss} + I_{n,comb} + I_{n,off}}{4}, \quad (7.1)$$

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:

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

7.16 Выводы должны содержать результаты сравнительного анализа используемых режимов фильтрации при измерении параметров канала системы WDM по спектральной характеристике группового оптического сигнала с помощью OSA. Также необходимо привести результаты сравнения измеренных параметров каналов системы WDM с нормируемыми значениями.

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.

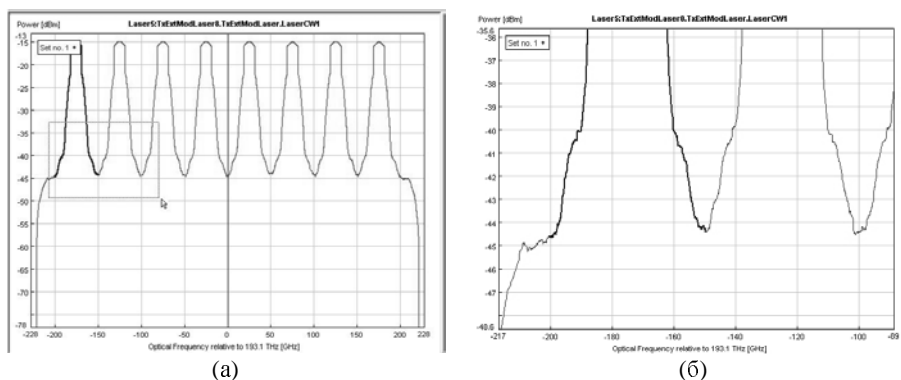


Рисунок 1. Увеличение фрагмента спектральной характеристики OSA.

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)).

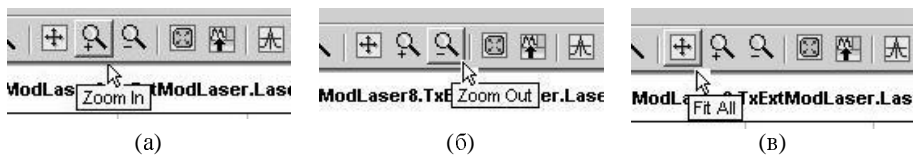


Рисунок 2. Панель управления. Режим масштабирования.

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 сглажива-

ния 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)).

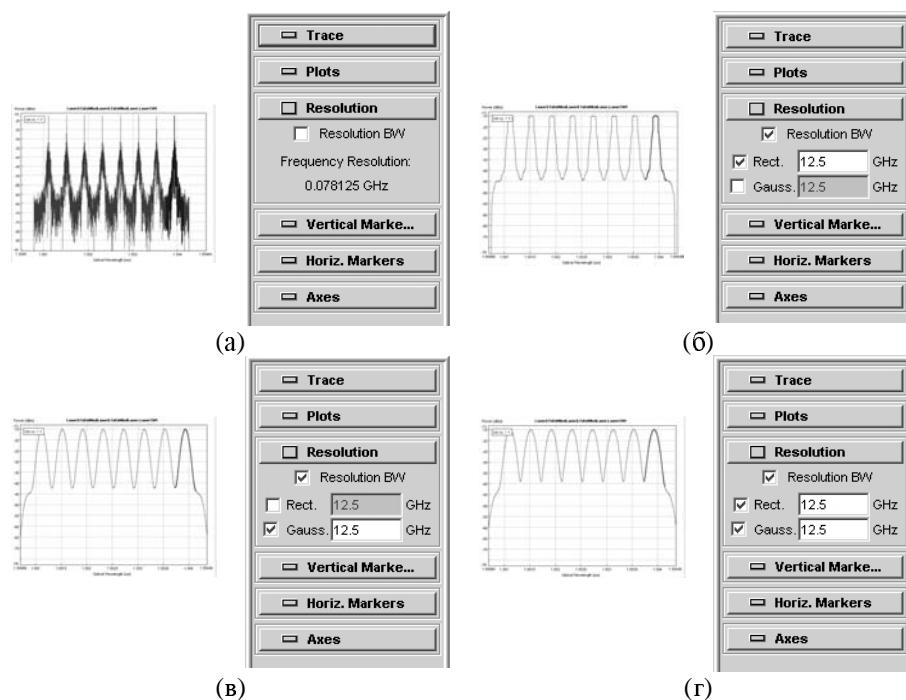


Рисунок 3. К выбору режима интерполяции.

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 задать разметку осей, отключив режим «Auto» (для этого необходимо снять флажок) и указав затем в графе «Ref.» значение маркируемой величины, относительно которой будет выполнена разметка соответствующей оси (рис. 4 (г)).

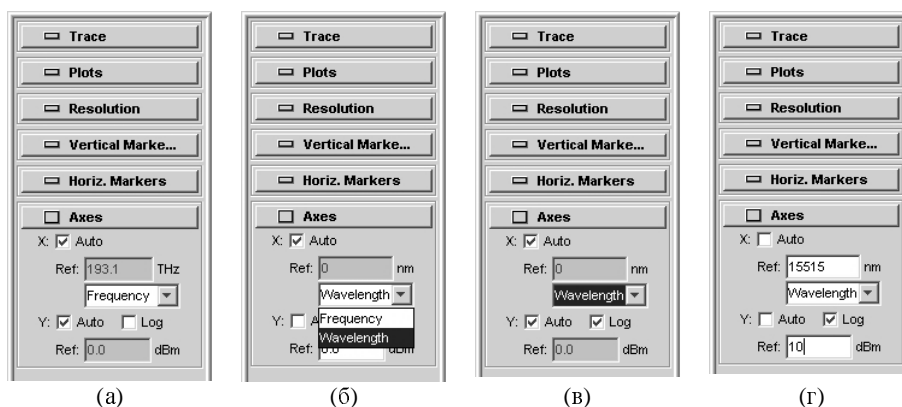


Рисунок 4. Разметка осей координат

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 мкВт/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)).

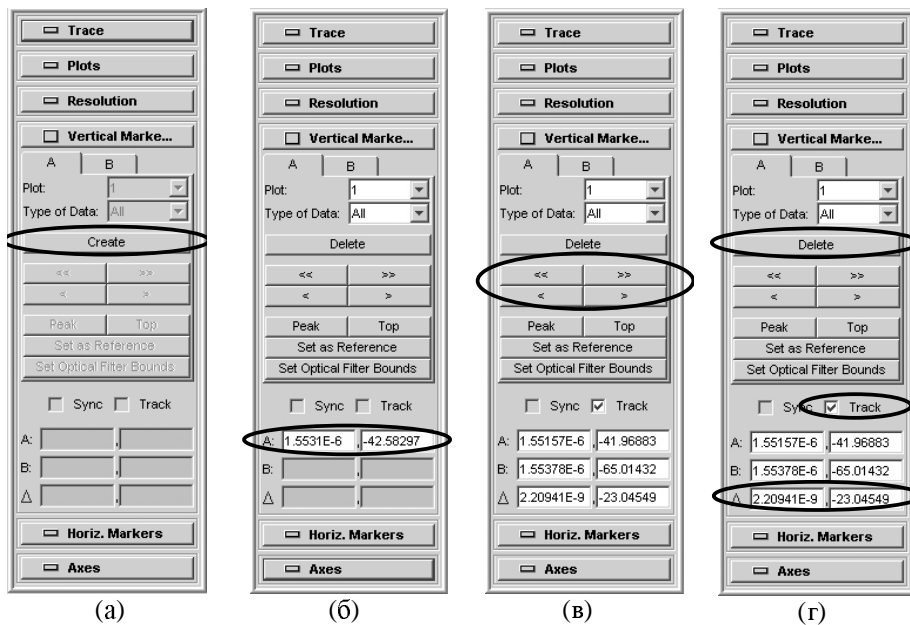


Рисунок 5. Управление вертикальными маркерами

5. Управление горизонтальными маркерами

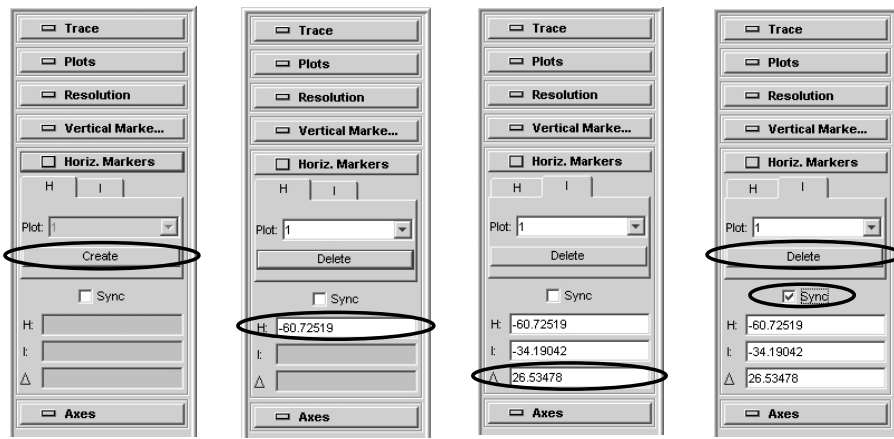
Для управления горизонтальными маркерами необходимо войти в меню «Horiz Markers» (рис. 6 (а)). Активизация одного из двух маркеров «Н» - «I» осуществляется путем переключения между соответствующими одноименными закладками. Для включения маркера необходимо нажать клавишу «Create» (рис. 6 (а)), после чего 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.

Энергетические параметры каналов систем WDM

1. Мощность оптического излучения в канале

Мощность оптического излучения в канале P_n измеряется по спектральной характеристике, представленной на рис. 1.

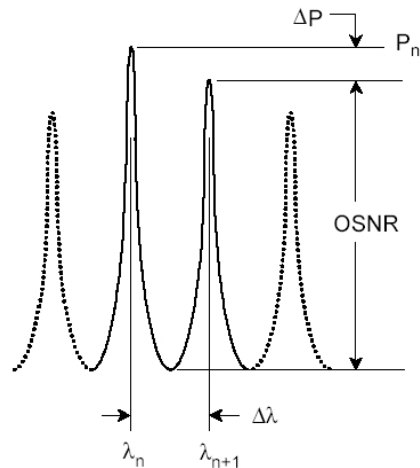


Рисунок 1. К оценке значений P_n , ΔP_n и OSNR

Данная величина нормируется относительно значения суммарной мощности оптического излучения, представленного ниже в п. 2. Превышение значения оптической мощности в канале нормируемого значения приводит к увеличению перекрестных помех и росту числа ошибок на приемной стороне.

2. Суммарная мощность оптического излучения

Суммарная мощность оптического излучения P_{Σ} определяется как мощность оптического излучения при передаче группового потока спектрального уплотнения. Данная величина измеряется на выходе мультиплексора с помощью измерителя оптической мощности и, согласно, не должна превышать +27 дБм или 500 мВт для длины волны $\lambda=1550$ нм. Увеличение P_{Σ} приводит к усилению проявления нелинейных эффектов в оптических волокнах линейного тракта системы WDM, а также существенно увеличивает перекрестные помехи на приеме

В данной работе суммарная мощность оптического излучения оценивается по заданной спектральной характеристике как сумма мощностей оптического излучения в каждом канале по следующей формуле:

$$P_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N P_n = \sum_{n=1}^N 10^{0.1 p_n}, \text{ мВт},$$

$$p_{\Sigma} = 10 \log \left(\frac{P_{\Sigma}}{P_{1\text{мВт}}} \right), \text{ дБм}, \quad (1)$$

где N – общее число каналов, P_n – мощность, мВт и p_n – уровень мощности, дБм, в оптическом канале n с центральной длиной волны $\lambda_{0,n}$, соответственно.

Представленное выше максимально допустимое значение суммарной мощности оптического излучения, в свою очередь, определяет и верхний предел для уровня мощности оптического излучения в каждом оптическом канале:

$$p_{\text{кан}} = p_{\Sigma} - 10 \log N, \text{ дБм}. \quad (2)$$

3. Максимум различия мощности в оптических каналах

Максимум различия мощности в оптических каналах Δp_{max} определяется как разность между наибольшим и наименьшим значениями мощности оптических сигналов в оптических каналах (рис. 1). Данная величина не зависит от количества каналов и не должна превышать 2 дБ.

4. Отношение сигнал/шум (OSNR – Optical Signal-to-Noise Ratio) в канале

OSNR отражает превышение мощности принимаемого сигнала над шумовым фоном для каждого канала и определяется как отношение средней мощности оптического сигнала в канале к средней мощности оптического шума в полосе спектра частот оптического сигнала соответствующего оптического канала:

$$OSNR_n = 10 \log \frac{P_n}{P_{\text{noise},n}} = p_n - p_{\text{noise},n}, \text{ дБ}. \quad (3)$$

В идеальном случае, согласно формуле (3), $OSNR_n$ определяется путем вычисления отношения мощности сигнала P_n в канале к мощности шума $P_{\text{noise},n}$ на этой длине волны канала (рис. 1). Однако непосредственно выполнить измерение $P_{\text{noise},n}$ в канале по спектральной характеристике группового сигнала не представляется возможным, поскольку сам полезный сигнал в канале закрывает шум. На практике определяют мощность шума по обеим сторонам канала $P_{\text{noise}, \lambda_0 - \Delta\lambda}$ и $P_{\text{noise}, \lambda_0 + \Delta\lambda}$ в некотором спектральном диапазоне $\Delta\lambda$, а затем

оценивают действительное значение $P_{noise,n}$ как среднее арифметическое полученных значений (рис. 2):

$$P_{noise} = \frac{P_{noise,\lambda_0-\Delta\lambda} + P_{noise,\lambda_0+\Delta\lambda}}{2}, \text{ мВт,} \quad (4)$$

$$P_{noise} = \frac{P_{noise,\lambda_0-\Delta\lambda} + P_{noise,\lambda_0+\Delta\lambda}}{2}, \text{ дБ}$$

где $P_{noise,\lambda_0-\Delta\lambda}$ и $P_{noise,\lambda_0+\Delta\lambda}$ - мощность шума на длинах волн $\lambda_0-\Delta\lambda$ и $\lambda_0+\Delta\lambda$, соответственно; $P_{noise,\lambda_0-\Delta\lambda}$ и $P_{noise,\lambda_0+\Delta\lambda}$ - уровень мощности шума на длинах волн $\lambda_0-\Delta\lambda$ и $\lambda_0+\Delta\lambda$, соответственно.

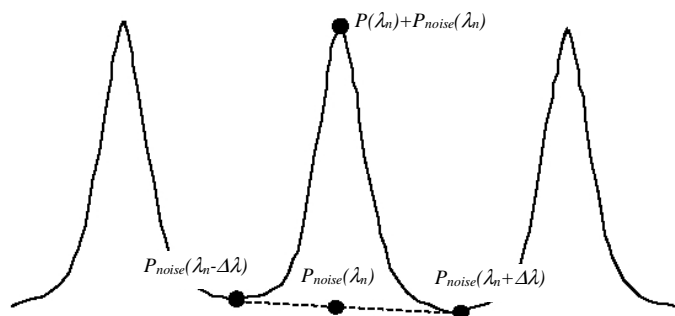


Рисунок 2. К оценке OSNR по реальной спектральной характеристике группового оптического сигнала. Определение мощности величины шума в канале.

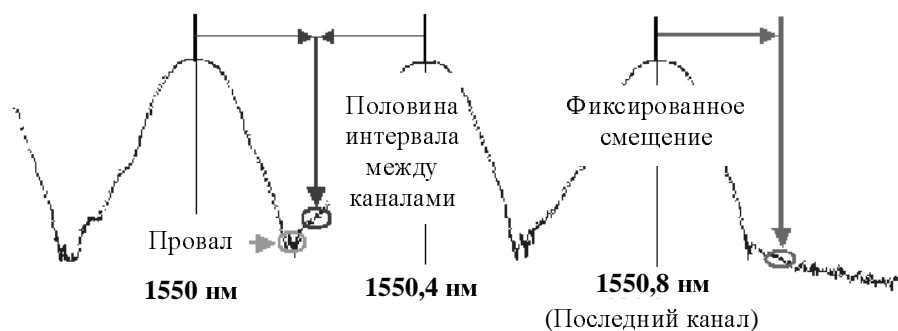


Рисунок 3. К оценке OSNR по реальной спектральной характеристике группового оптического сигнала. Уточнение положения маркеров при измерении мощности шума в канале.

Обычно мощность шума определяют на половине интервала между каналами, однако в ряде случаев при анализе реальной спектральной характеристики группового сигнала для измерения $P_{noise, \lambda_0 - \Delta\lambda}$ и $P_{noise, \lambda_0 + \Delta\lambda}$ необходимо уточнить положение маркеров (рис. 3).

Измерение OSNR требует точного измерения как мощности полезного оптического сигнала в канале, так и мощности шума. Чем больше OSNR, тем легче идентифицировать принимаемые биты сигнала на уровне шума. Значения OSNR нормируются исходя из того, чтобы вносимый в оптический тракт системы WDM обусловленный применением оптических усилителей (ОА) дополнительный шум не уменьшал это отношение ниже 20 дБ [2.4 – 2.5]. Поэтому величина OSNR определяется следующим выражением, соответствующему выходу первого ОА, в оптическом тракте после мультиплексора [2.4 – 2.5] при количестве ОА k :

$$OSNR_{\max,1} = 19 + x - k + 10 \lg(x), \text{ дБ}, \quad (5)$$

и на выходе k -го промежуточного усилителя ОА $_k$:

$$OSNR_{\max,k} = 19 + x - k + 10 \lg\left(\frac{x}{k+1}\right), \text{ дБ}, \quad (6)$$

где x – число элементарных кабельных участков (ЭКУ) на регенерационном участке ВОЛП системы WDM. При этом ЭКУ, согласно [2.4 – 2.5] определяется как участок оптического тракта между оптическими усилителями.

5. 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 :

$$\lambda_{0,n} = \frac{\lambda_{upper,n} + \lambda_{lower,n}}{2} \quad (7)$$

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. 4).

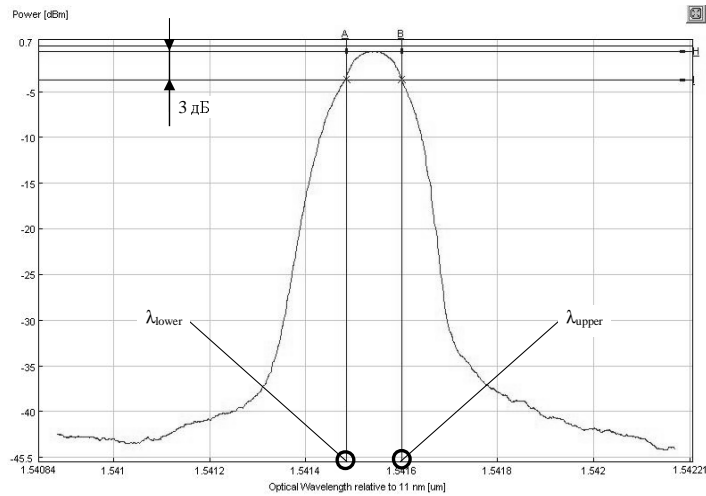


Рисунок 4. К оценке верхней и нижней длины волны отсечки

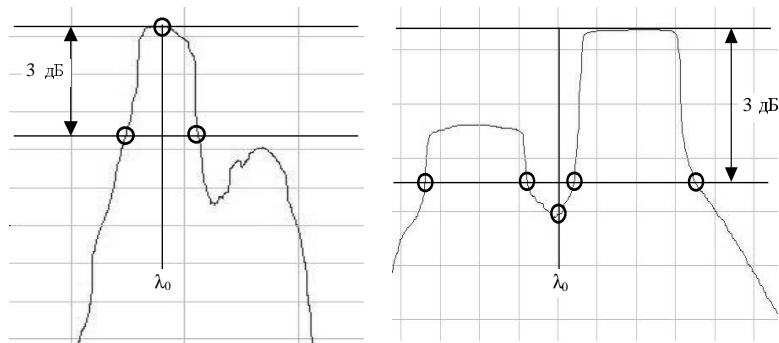


Рисунок 5. Влияние формы спектральной характеристики на положение центральной длины волны канала.

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 (рис. 5). 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Сводная таблица условных обозначений параметров передачи систем WDM

| № п/п | Наименование параметра | Ед. изм. | Условное обозначение |
|-------|--|----------|--|
| 1 | Центральная длина волны канала | нм | $\lambda_{0,n}$ |
| 2 | Уровень мощности оптического излучения в канале n | дБ | P_n |
| 3 | Мощность оптического излучения в канале n | мкВт | P_n |
| 4 | Суммарная мощность оптического излучения группового сигнала | мкВт | P_{Σ} |
| 5 | Уровень суммарной мощности оптического излучения группового сигнала | дБ | P_{Σ} |
| 6 | Максимально допустимый уровень мощность оптического излучения в канале | дБ | $P_{кан}$ |
| 7 | Максимум различия мощности в оптических каналах | дБ | Δp_{max} |
| 8 | Уровень шума слева относительно канала n | дБ | $P_{noise, \lambda_{0n} - \Delta \lambda}$ |
| 9 | Уровень шума справа слева относительно канала n | дБ | $P_{noise, \lambda_{0n} + \Delta \lambda}$ |
| 10 | Уровень шума в канале n | дБ | $P_{noise, n}$ |
| 11 | Оптическое отношение сигнал/шум в канале n | дБ | $OSNR_n$ |
| | | | |

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