

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет  
Кафедра оптоэлектроники**

**Методическое пособие к лабораторной работе  
ТЕСТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И КАНАЛОВ  
СКС С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА  
ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ**

**Краснодар 2017**

# **ТЕСТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И КАНАЛОВ СКС С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ**

Цель работы: приобрести навыки практического тестирования оптических линий и каналов СКС с помощью рефлектометра и навыков расшифровки рефлектограмм.

## **Краткая теория**

### **1. ИСПЫТАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СКС**

#### **1.1. Тестирование волоконно-оптических компонентов и систем СКС**

Тестирование волоконно-оптических компонентов и систем СКС включает в себя измерение нескольких основных характеристик. Для проведения сертификационного тестирования большинства волоконно-оптических кабельных систем, устанавливаемых в зданиях и кампусах, обычно бывает достаточно получить данные о вносимых потерях, обратных потерях и оптической длине.

Полоса пропускания (коэффициент широкополосности) в случае многомодового и дисперсия в случае одномодового волокон - чрезвычайно важные параметры, но, поскольку они практически не зависят от методов монтажа, их тестирование достаточно выполнять на стадии изготовления волокон.

В установленной СКС проводится тестирование кабельной линии, состоящей из двух единиц волоконно-оптического коммутационного оборудования, соединенных сегментом волоконно-оптического кабеля. В качестве дополнительных элементов в линию могут входить консолидационная точка и муфты.

В случае применения многомодовых волокон тестирование выполняется с помощью источников на основе LED на длинах волн 850 и 1300 нм. Тестирование на разных длинах волн позволяет удостовериться, что кабельная система в состоянии поддерживать работу различных телекоммуникационных приложений и соответствовать требованиям поставщиков различного сетевого оборудования. Для одномодовых волокон тестирование проводится на длинах волн 1310 и 1550 нм. Тестирование на длине волны 1550 нм в дополнение к 1310 нм должно подтвердить возможность работы технологий мультиплексирования с разделением длин волн WDM на 1310 и 1550 нм. Кроме того, тестирование на 1550 нм может обнаружить потери вследствие микроизгибов, которые не столь заметны на 1310 нм, но к которым волокна очень чувствительны на длине волны 1550 нм. Если кабельные сегменты достаточно протяженные, используют рефлектометр (OTDR, Optical Time Domain Reflectometer) для обнаружения места расположения дефекта. После этого проблемные коннекторы должны быть подвергнуты дополнительной полировке или замене.

#### **1.2. Конфигурация тестирования**

Волоконно-оптическая линия - часть кабельной системы, состоящая из кабеля, коннекторов и муфт и соединяющая две точки терминирования, представляющие собой волоконно-оптическое коммутационное оборудование. В качестве примера линии

можно привести горизонтальную кабельную подсистему, начинающуюся на коннекторе телекоммуникационной розетки и заканчивающуюся на распределителе этажа (горизонтальном кроссе). В магистральной подсистеме могут быть волоконно-оптические линии трех видов:

- соединяющие распределитель кампуса [CD] (главный кросс [MC]) с распределителем здания [BD] (промежуточным кроссом [IC]);
- соединяющие распределитель здания [BD] (промежуточный кросс [IC]) с распределителем этажа [FD] (горизонтальным кроссом [HC]);
- соединяющие распределитель кампуса [CD] (главный кросс [MC]) с распределителем этажа [FD] (горизонтальным кроссом [HC]).

Топология СОА также построена на линии, соединяющей телекоммуникационную розетку с централизованным кроссом с проходом через муфту или межсоединение в телекоммуникационной.

### **1.3. ТЕСТИРОВАНИЕ ЛИНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ**

Тестирование линий горизонтальной кабельной подсистемы проводится, как правило, только на одной длине волны. Вследствие их небольшой длины (90 м и менее) зависимость затухания от длины волны пренебрежимо мала.

Волоконно-оптические линии горизонтальной кабельной подсистемы должны проходить тестирование вносимых потерь при длине волны 850 или 1300 нм, по крайней мере, в одном направлении. Результаты тестирования не должны превышать:

2,00 дБ - для непрерывного сегмента горизонтальной подсистемы;

2,75 дБ - для кабельной системы открытого офиса и использования консолидационной точки.

Предельное значение вносимых потерь основано на потерях на двух парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке и одна пара в горизонтальном кроссе) и в 90 м волоконно-оптического кабеля. В случае тестирования кабельной системы открытого офиса с использованием консолидационной точки, значение результатов тестирования не должно быть более 2,75 дБ, поскольку CP вносит дополнительные потери значением до 0,75 дБ. При использовании кабельной системы открытого офиса и многопользовательской телекоммуникационной розетки значение результатов тестирования должно быть не более 2,00 дБ.

### **1.4. ТЕСТИРОВАНИЕ ЛИНИИ МАГИСТРАЛЬНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ**

Волоконно-оптические линии магистральной кабельной подсистемы должны проходить тестирование вносимых потерь, по крайней мере, в одном направлении на длинах волн:

850 и 1300 нм - для многомодового волокна;

1310 и 1550 нм - для одномодового волокна.

Результаты тестирования не должны превышать значений, рассчитываемых по формулам 1–3 п. 1.5.

Вследствие того, что длина сегментов магистральной кабельной подсистемы и потенциальное число муфт в ней могут меняться в зависимости от конкретных условий

проекта, вносимые потери линии перед проведением сертификационного тестирования рассчитывают с помощью формул 1–3 п. 5. для каждой используемой длины волны.

### 1.5. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛОВ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ ЛИНИИ

Пределы вносимых потерь волоконно-оптических линий магистральной кабельной подсистемы и линий длиной свыше 90 м рассчитывают по формулам 1-3:

$$IL_{\text{Линии}} = IL_{\text{Кабель}} + IL_{\text{Коннекторы}} + IL_{\text{Муфты}}, \quad (1)$$

где  $IL_{\text{Кабель}} = ILC_{\text{Кабель}} \cdot L_{\text{Кабель}}$ ,

$ILC_{\text{Кабель}}$  - коэффициент вносимых потерь кабеля:

3,5 дБ/км - при длине волны 850 нм для многомодового волокна;

1,5 дБ/км - при длине волны 1300 нм для многомодового волокна;

0,5 дБ/км - при длине волны 1310 нм для одномодового волокна внешнего применения;

0,5 дБ/км - при длине волны 1550 нм для одномодового волокна внешнего применения;

1,0 дБ/км - при длине волны 1310 нм для одномодового волокна внутреннего применения;

1,0 дБ/км - при длине волны 1550 нм для одномодового волокна внутреннего применения;

$L_{\text{Кабель}}$  - длина кабеля, км;

$$IL_{\text{Коннекторы}} = N_{\text{Пар коннекторов}} \cdot ILC_{\text{Коннектор}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{Пар коннекторов}}$  - число пар коннекторов в линии;

$ILC_{\text{Коннектор}}$  - коэффициент вносимых потерь коннекторов, 0,75 дБ;

$$IL_{\text{Муфты}} = N_{\text{Муфт}} \cdot ILC_{\text{Муфты}}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{Муфт}}$  - число муфт в линии;

$ILC_{\text{Муфты}}$  - коэффициент вносимых потерь муфты, 0,3 дБ.

В случае, когда тестируемая линия состоит из кабелей внутреннего и внешнего применения (магистральная система кампуса), в используемой формуле должны присутствовать расчеты вносимых потерь для каждого из сегментов.

## 1.6. ТЕСТИРОВАНИЕ ЛИНИИ СОА

Волоконно-оптические линии СОА должны проходить тестирование вносимых потерь на длине волны 850 или 1300 нм, по крайней мере, в одном направлении. При этом вносимые потери не должны превышать:

3,3 дБ - для сегмента СОА, соединяющего централизованный кросс с телекоммуникационной розеткой на рабочем месте;

4,1 дБ - для сочетания СОА с кабельной системой открытого офиса, содержащей консолидационную точку.

Рекомендуется тестировать волоконно-оптические линии СОА на длине волны 850 нм. Тестирование линий СОА проводится, как правило, только на одной длине волны, так как вследствие небольшой длины линий (до 300 м) зависимость затухания от длины волны является незначительной.

Предельные значения вносимых потерь измеряют:

для СОА - на трех парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке, вторая - в телекоммуникационной и третья - в централизованном кроссе) и в 300 м волоконно-оптического кабеля;

для сочетания СОА с кабельной системой открытого офиса, содержащей консолидационную точку, - на четырех парах коннекторов (одна пара в телекоммуникационной розетке, вторая - в консолидационной точке, третья - в телекоммуникационной и четвертая - в централизованном кроссе) и в 300 м волоконно-оптического кабеля.

## 1.7. ДЛИНА

Все волоконно-оптические линии горизонтальной и магистральной кабельных подсистем должны пройти тестирование длины.

Результаты измерений должны быть в пределах, определенных для длин волоконно-оптической кабельной системы в соответствующем нормативном документе.

## 2. ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

### 2.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ OTDR

Оптический рефлектометр во временной области (ОРВО, англ. Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) - электронно-оптический измерительный прибор, используемый для определения характеристик оптических волокон. Прибор определяет местонахождение дефектов и повреждений, измеряет уровень потерь сигнала в любой точке оптической линии.

Рефлектометр позволяет:

- определять распределение потерь вдоль волоконной оптической линии связи (ВОЛС);

- выявлять дефектные элементы или участки линий связи;

- определять точное расположение обрывов или дефектных участков ВОЛС;

- измерять потери мощности оптического сигнала в разъемных и неразъемных (сварных) соединениях;
- измерять потери на отражения.

Достоинством OTDR является возможность оперативной неразрушающей диагностики ВОЛС с использованием доступа только к одному торцу световода.

Принцип действия OTDR напоминает радар, и во многом схож с принципом действия импульсных рефлектометров, применяемых для тестирования электрических кабелей. Оба типа рефлектометров посылают в линию мощный зондирующий импульс (оптический или электрический) и измеряют мощность и время запаздывания импульсов, вернувшихся обратно в рефлектометр. Отличие заключается в том, что в электрической линии наблюдаются только отраженные импульсы, образующиеся в местах, где в линии имеются скачки волнового сопротивления. В оптических световодах обратная волна образуется не только за счет отражения от больших (по сравнению с длиной волны) дефектов, но и за счет рэлеевского рассеяния в каждой точке световода. Рэлеевское рассеяние - когерентное рассеяние света без изменения длины волны (называемое также упругим рассеянием) на объектах, размеры которых меньше его длины волны. Рассеяние света в световоде происходит на флуктуациях показателя преломления кварцевого стекла, сформированных при вытяжке и застывании оптического волокна (ОВ). Размер этих неоднородностей (рэлеевских центров) мал по сравнению с длиной волны и свет на них рассеивается во всех направлениях, в том числе и назад в моду волокна.

Рэлеевские центры распределены однородно вдоль сердцевинки волокна, и в рассеянной на них электромагнитной волне содержится информация обо всех параметрах линии, влияющих на поглощение света. Именно за счет детектирования рассеянного излучения удается обнаруживать неотражающие (поглощающие) неоднородности в волокне. Например, по сигналу обратного рэлеевского рассеяния света можно измерить распределение потерь в оптических кабелях и потери в местах соединения волокон. Такие измерения нельзя выполнить, регистрируя только отраженное (а не рассеянное) излучение.

Если световой импульс, распространяющийся в каком-либо материале (например, в сердцевинке ОВ) попадает в материал с другой плотностью (например, в воздух), часть мощности отражается назад к источнику света, в то время как остальная световая энергия продолжает распространяться дальше. Резкие изменения плотности материала имеют место на торцах волокна, у обрывов и в местах соединения волокон. Количество отраженного света зависит от величины изменения плотности материала (которая характеризуется показателем преломления - более высокий показатель преломления означает большую плотность) а также от того угла, под которым свет падает на поверхность раздела между двумя материалами. Это явление называется френелевским отражением. Оно используется в оптическом рефлектометре для точного определения мест в ОВ, характеризующихся дискретным изменением коэффициента преломления.

Принцип действия оптического рефлектометра во временной области основан на регистрации распределения во времени сигнала обратного рассеяния, состоящего из рэлеевского рассеяния в направлении ODTR и френелевского отражения. Зондирующие импульсы от лазерного диода относительно высокой мощности вводятся в исследуемый световод через Y-разветвитель. Высокочувствительный

фотоприемник регистрирует в соответствии с отсчетами времени сигнал обратного рассеяния (СОР) - ту часть мощности оптического излучения, которая возвращается из световода в рефлектометр в результате отражений и обратного рассеяния. Во время регистрации этого сигнала оптический рефлектометр производит тысячи измерений, распределение которых во времени соответствуют распределению СОР по всей длине волокна. Точки с результатами измерений находятся друг от друга на расстоянии от 0,004 до десятков метров, в зависимости от технических характеристик рефлектометра и выбранного режима измерений. Эти точки выводятся на экран и образуют рефлектограмму - наклонную линию, идущую слева направо и сверху вниз. На отображаемой рефлектограмме отображается зависимость мощности СОР от длины ОВ. При этом по горизонтальной оси графика откладывается расстояние, пропорциональное времени возвращения светового импульса в рефлектометр, а по вертикальной – уровень мощности отраженного сигнала. Выбрав с помощью подвижных курсоров две любые точки с результатами измерений, можно определить расстояние между ними и разницу между уровнями мощности СОР в этих точках.

В настоящее время все большую популярность получает концепция «тестовых платформ», подразумевающая наличие базового модуля с возможностью подключения сменных модулей различного назначения.

## 2.2. ОБРАБОТКА РЕФЛЕКТОГРАММ

Рефлектограмма позволяет судить о качестве ВОЛС, дает возможность обнаружить и локализовать её подозрительные участки, проводить измерение потерь на соединениях и обратных потерь на различных неоднородностях.

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния оптического тракта ВОЛС представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, на рефлектограмме можно выделить однородные участки 2 с постоянным коэффициентом наклона, на которых СОР выглядит как прямая линия (в логарифмическом масштабе), и так называемые «события» - участки с резким изменением уровня СОР, обусловленные различными неоднородностями в оптической волоконной линии (1, 3, 4, 5).

Участки с постоянным коэффициентом наклона характерны для «строительных длин» - непрерывных бездефектных участков ВОЛС, соответствующих укладываемым в линию отрезкам кабеля. Затухание сигнала  $A$  (в децибелах) между двумя точками 1 и 2 (рис. 1) определяется как:

$$A = Y_1 - Y_2 \quad (4)$$

где  $Y_1$  и  $Y_2$  – уровни СОР (дБ) в точках 1 и 2 соответственно.

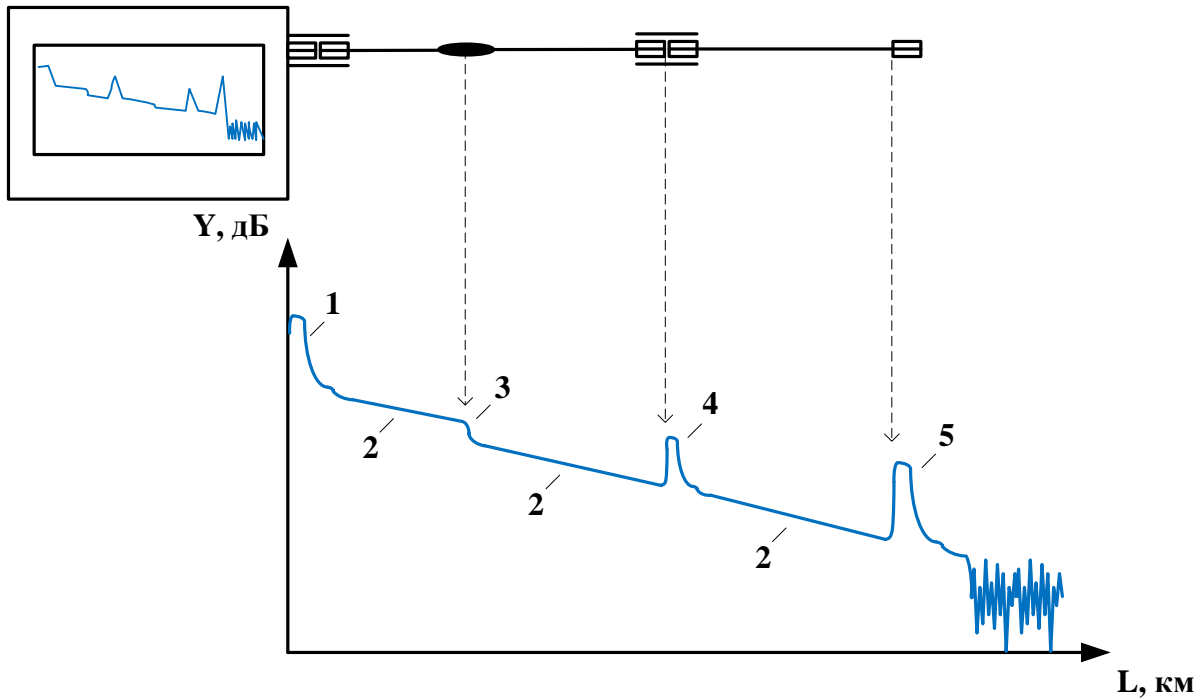


Рис.1. Вид типовой рефлектограммы ВОЛС

Коэффициент затухания  $\alpha$  (attenuation coefficient), или затухание на единицу длины (attenuation per unit length), в дБ/км между точками 1 и 2 однородного ОВ можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \frac{Y_1 - Y_2}{L_2 - L_1} \quad (5),$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – расстояния от начала ОВ до точек 1 и 2 соответственно.

Выбор точек, между которыми определяется затухание, осуществляется с помощью двух курсоров, перемещаемых оператором по экрану дисплея. В современных ОР расстояние между курсорами, разность уровней и средний коэффициент затухания между этими точками СОР постоянно отображается на дисплее. Если точки 1 и 2 лежат на однородном участке волоконной линии, то средний коэффициент затухания, определенный в соответствии с формулой (5) равен коэффициенту затухания  $\alpha$  на этом участке.

Участки с резким изменением уровня СОР - события - по критерию наличия френелевского отражения можно условно разделить на два вида: отражающие и неотражающие.



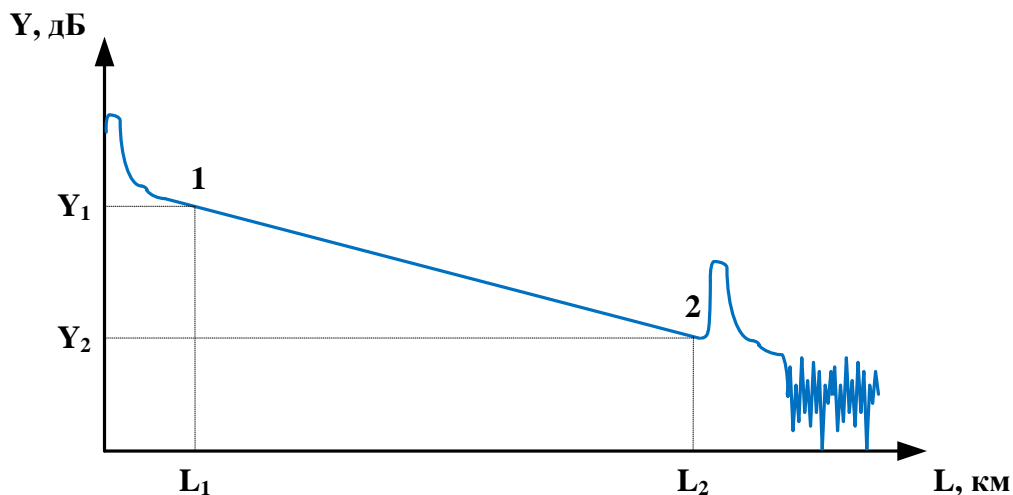


Рис. 2. Измерение затухания между двумя точками однородного участка ОВ по рефлектограмме

Рассмотрим подробнее перечисленные типы событий.

**Отражающие события**, сопровождающиеся пиками (1, 4, 5 на рис. 4) возникают в механических разъёмных соединениях оптических волокон, на конце линии, в разрывах, на микротрещинах в сердцевине волокна, в местах соединения различных участков кабеля, а также при наличии в ОВ малых включений инородных примесей или пузырьков воздуха, т.е. везде, где наблюдается дискретное изменение коэффициента преломления проводящей среды. Мощность отраженного сигнала, а, следовательно, положение вершины пика определяется мощностью зондирующего импульса и коэффициентом отражения, но не зависит от его длительности. Амплитуда пика отражения характеризует качество соединения ОВ.

Начальный выброс сигнала 1 возникает в точке подключения световода к рефлектометру и вызван отражением светового импульса от входного торца исследуемого ОВ в разъеме рефлектометра; событие 4 вызвано имеющимся в оптическом тракте разъёмным оптическим соединителем, событие 5 – отражением от конца трассы.

Как правило, отражающее событие вводит фотоприемник рефлектометра в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр рефлектометра - «мертвую зону», т.е. расстояние, на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания. Отражающие события возникают также при наличии в ОВ малых включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие события характеризуются обратным отражением  $R$ , величина которого определяется по формуле:

$$R = 10 \lg (P_r/P_0) \quad (6),$$

где  $P_r$  - оптическая мощность, отраженная разъёмным оптическим соединителем, мВт;

$P_0$  - оптическая мощность, падающая на разъёмный оптический соединитель, мВт.

Конец тракта ОВ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу 5 и следующему за ним участку 6 резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленными шумами фотоприемника.

Кроме того, при расшифровке рефлектограмм следует учитывать возможность наличия скрытых событий, которые настолько близко расположенных к предыдущему отражающему событию, что фотоприемник рефлектометра не успевает восстановиться до требуемой чувствительности и не может зарегистрировать «скрытое» событие.

**Неотражающие события** вызваны явлениями, вызывающими потерю мощности оптического сигнала при его прохождении через локальный участок световода или через устройство. Такие события отображаются на рефлектометре ступенькой (3 на рис. 4) и обычно бывают вызваны сварными, клеевыми сростками, макро- или микроизгибами ОВ. Потери оптической мощности между двумя поперечными сечениями 1 и 2 до и после события называются затуханием (attenuation)  $A$  и определяются по формуле:

$$A = 10 \lg (P_1 / P_2), \quad (7),$$

где  $A$  - затухание, дБ;

$P_1$  - оптическая мощность, проходящая через поперечное сечение 1;

$P_2$  - оптическая мощность, проходящая через поперечное сечение 2.

Отсутствие отражения на качественных сварных соединениях связано с отсутствием скачка показателя преломления, т.к. сколотые торцы ОВ сплавляются друг с другом. Для хорошо сваренного соединения ОВ появляющаяся «ступенька» на рефлектограмме очень мала: типичные потери составляют диапазон от 0,02 до 0,2 дБ, в зависимости от использованного при сварке оборудования и квалификации оператора. Потери на микроизгибах имеют аналогичные характеристики и их трудно отличить от потерь на сварных или механических соединениях.

**События подъема** - ситуация, когда СОР после события выше, чем до события. Подъемы встречаются после больших отражений. От сильного сигнала остается след за отражением, который постепенно исчезает. Этот след является мертвой зоной по затуханию. Если следующее событие достаточно близко, вместо снижения уровня СОР наблюдается подъем (рис. 3). Этот уровень может быть выше уровня обратного рассеяния до события, за которым возник след.

Кроме того, подъемы могут возникать на стыках разных типов кабелей вследствие вариаций коэффициента обратного релеевского рассеяния для различных типов оптических волокон, либо по причине различий в диаметре модового пятна. Увеличение коэффициента обратного релеевского рассеяния на стыке волокон, либо увеличение диаметра модового пятна приведет к подъему уровня СОР (2 на рис. 3).

Основным фактором, вызывающим увеличение рассеяния в точке сращиваемых волокон, является разница коэффициентов рассеяния соединяемых волокон. Так, если последующее по ходу распространения излучения волокно будет иметь несколько более высокий коэффициент рассеяния, чем предыдущее, оно будет рассеивать большее количество света обратно на OTDR. Последний обнаружит это увеличение и, естественно, изобразит его на экране на несколько более высоком уровне, чем уровень

предыдущего участка волокна.

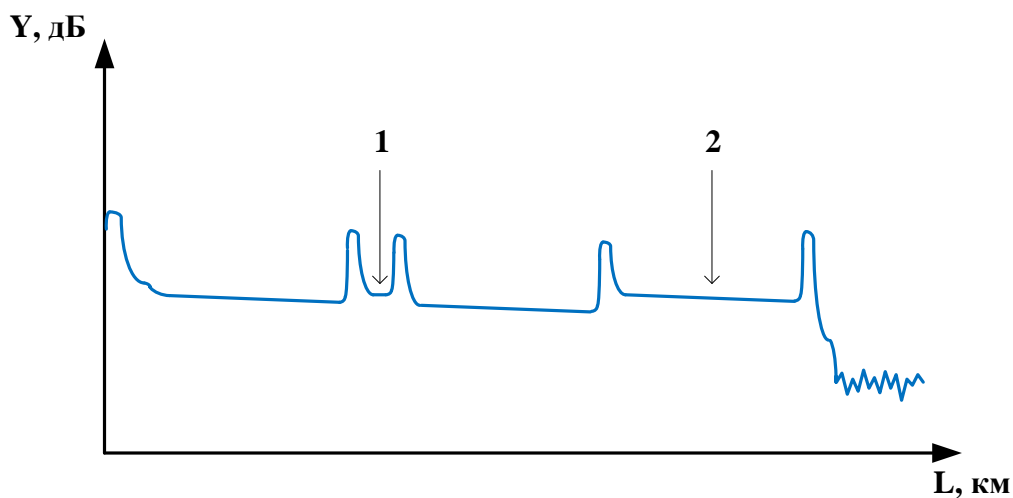


Рис. 3. События подъема: 1 - после отражающего события;  
2 - на стыке различных типов оптических волокон.

Вторым фактором, увеличивающим рассеяние в точке сращивания волокон, является отличие геометрии их сердцевины, причем незначительные расхождения диаметров последних могут привести к увеличению мощности возвращенного света после точки их сочленения, определяемому выражением.

Следовательно, меньшее по диаметру принимающее волокно будет рассеивать меньшее количество света на OTDR, чем большее волокно будет передавать. На дисплее OTDR это отображается подъемом на рефлектограмме. Это указывает на то, что информация обратного рассеяния не всегда адекватна процессу распространения света в волокне, так как последний при распространении по оптическому волокну не усиливается. Следовательно, OTDR определяет потери, исходя из разницы в уровнях обратного рассеяния, а не из действительного состояния оптического волокна, в связи с чем различия в коэффициенте рассеяния Рэлея и коэффициенте, определяющем захваченную волокном и направленную обратно к рефлектометру часть рассеянного во всех направлениях света, оказывают влияния на сигнал OTDR и могут привести к двусмысленности в процессе интерпретации результатов измерений.

Измеренные OTDR потери сращивания могут иметь разные знаки и, следовательно, зависят от направления зондирования волокна. Очевидно, что при тестировании с другого конца того же волокна OTDR покажет гораздо большее значение потерь. Следовательно, измерение потерь с помощью OTDR должно проводиться с обоих концов линии при последующем усреднении полученного результата, что позволяет исключить эффект направленности. Это единственный способ убедиться в правильности прочтения потерь сращивания вне зависимости от того, присутствуют на данном отрезке волокна усиления или нет.

**Фантомы** - события, ни источник которых, ни положение на рефлектограмме не соответствует реальным характеристикам или особенностям исследуемой трассы. Установленные перед исследованием параметры регистрации (длина световода, мощность импульса и т.д.), а также некоторые физические явления могут быть

причиной появления эхо и фантомов.

Фантом, призрак (ghost) - ложное френелевское отражение - регистрация возвращающегося в ODTR импульса света от сильно отражающего события во время регистрации SOP последующего импульса, или регистрация многократно отраженного сигнала.

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с руководством пользователя ОР. Изучите интерфейс пользователя ОР.

2. Соберите измерительную установку в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 4.

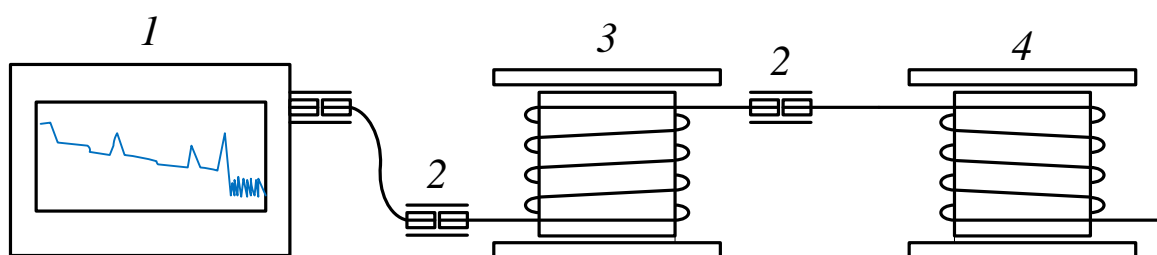


Рис. 4. Структурная схема измерительной установки: 1 - оптический рефлектометр, 2 - оптические разъемные соединители, 3 - тестируемая оптическая линия, 4 - приемный кабель.

**Не включайте лазер ОРВО если установка не собрана  
или торец световода не заглушен!**

3. Проведите расчет пределов вносимых потерь волоконно-оптической линии 3 с оптическими разъемными соединителями 2 в соответствии с уравнениями 1-3.

4. Проведите тестирование вносимых потерь и длины волоконно-оптической линии одномодового волокна магистральной кабельной подсистемы в двух направлениях на длинах волн 1310 и 1550 нм.

Для этого, зарегистрируйте рефлектограмму оптической линии в автоматическом режиме для двух длин волн: 1310 и 1550 нм. В отчет поместите эскиз рефлектограммы с номерами событий (см. рис. 1), её описание и расшифровку согласно таблице 1.

5. Проведите измерение потерь и длины с помощью OTDR со второго конца линии, результаты занесите в таблицу.

6. Усредните полученные в п. 4 и 5 результаты для потерь  $\Pi$  линии, сделайте вывод о соответствии оптической линии заданным требованиям.

7. Проведите определение потерь для другой волоконно-оптической линии в соответствии с п. 4–6.

Таблица 1

Длина волны, нм	№ события	Расстояние, км	Потери $IL$ , дВ	Коэф. затухания $\alpha$ , дВ/км	Расшифровка события
1310	1				
	...				
1550	1				
	...				

### Контрольные вопросы

1. На каких длинах волн проводится тестирование волн для одномодовых волокон? Для многомодовых?
2. Что может включать в себя волоконно-оптическая линия СКС?
3. Каковы предельные значения вносимых потерь для элементов волоконно-оптических линий СКС?
4. Каковы предельные значения вносимых потерь для сегментов СОА?
5. Какие виды волоконно-оптических линий могут быть в магистральной подсистеме?
6. Что дополнительно позволяет обнаружить тестирование на длине волны 1550 нм?
7. Как рассчитать пределы вносимых потерь волоконно-оптических линий магистральной кабельной подсистемы?
8. Как формируется рефлектограмма?
9. Чему соответствуют горизонтальная и вертикальная оси рефлектограммы?
10. Что отображает рефлектограмма?
11. В чем заключается принцип работы ODTR?
12. Какие параметры ВОЛС позволяют определять ODTR?

### Рекомендуемая литература

1. ГОСТ Р МЭК 60793-1-40-2012. Волокна оптические. Ч. 1–40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание. М.: Стандартинформ, 2013.
2. Субботин Е.А. Методы и средства измерения параметров оптических телекоммуникационных систем. М.: Горячая Линия-Телеком, 2013 г.
3. Листвин А. В., Листвин, Д. В. Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРпт, 2005.
4. Laferrière J., Lietaert G., Taws R., Wolszczak S. Reference Guide to Fiber Optic Testing. JDS Uniphase Corporation. 2010.
5. ГОСТ Р МЭК 60793-1-22-2012. Волокна оптические. Ч. 1–22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины. М.: Стандартинформ, 014.