

**Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации**

**Государственное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

# **ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

**Самара**

Федеральное агентство связи РФ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»

Кафедра «Линии связи и измерения в технике связи»

Методическая разработка к лабораторной работе  
**«Измерение затухания отражений  
оптического тракта ВОЛП»**

Составители: к.т.н. Дашков М.В.  
асс. Дмитриев Е.В.  
асс. Гаврюшин С.А.

Рецензент: к.т.н. Трошин А.В.

Самара  
2010

**ББК 621.391.63**

**Д 21**

**Измерение затухания отражений оптического тракта ВОЛП:** учебно-методическая разработка / М.В. Дашков, С.А. Гаврюшин, Д.Е. Дмитриев.  
Самара: ИНУЛ ПГУТИ. 2010 – 20 с.

**Рецензент:** к.т.н. А.В. Трошин

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал по методу, средствам и технологии измерения затухания отражений оптического тракта ВОЛП. Рассмотрена методика и алгоритм измерения затухания отражений оптического тракта с использованием оптического тестера и оптического рефлектометра.

*Рекомендовано Методическим советом ГОУ ВПО ПГУТИ в качестве учебно-методического пособия для студентов, обучающихся по специальностям 210401, 210404, 210406.*

*Протокол заседания Методического совета ПГУТИ  
№9 от 03 декабря 2010года*

## **Цель работы**

Изучение теоретических основ и получение практических навыков измерения затухания отражений оптического тракта ВОЛП различными методами.

## **Литература**

1. Измерения на ВОЛП. Учебное пособие для ВУЗов / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, В.С. Баскаков, А.А. Воронков. – Самара, СРТТЦ ПГАТИ, 2001. – 162 с.
2. Измерения на ВОЛП методом обратного рассеяния. Учебное пособие для ВУЗов / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, В.С. Баскаков, А.Л. Косова. – Самара: СРТТЦ ПГАТИ, 2003. – 107 с.
3. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. – М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. – 632 с.
4. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.
5. ОСТ 45.104-97. Стыки оптические систем передачи синхронной цифровой иерархии. Классификация и основные параметры, 1998 г.
6. ОСТ 45.131-98. Стыки оптические систем передачи синхронной цифровой иерархии. Методы измерения параметров, 1998 г.

## **Подготовка к работе**

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Изучить основные компоненты оптического тракта ВОЛП и их вклад в формирование обратного потока.
3. Изучить принципы и методы измерения затухания отражения оптического тракта.
4. Изучить принципы нормирования затухания отражения в оптических трактах современных ВОЛП.
5. Изучить порядок проведения измерений ORL оптического тракта.
6. Подготовить бланки протоколов измерений.

## Контрольные вопросы

1. Причины возникновения обратного потока в оптическом тракте ВОЛП и его влияние на работу ВОСП.
2. Типы оптических разъемов используемых на ВОЛП.
3. Определения коэффициента отражения и затухания отражения.
4. Зависимость затухания отражения от параметров оптического тракта.
5. Нормативные значения коэффициента отражения и затухания отражения оптических трактов современных ВОЛП.
6. Классификация методов измерения затухания отражения на ВОЛП.
7. Принцип измерения затухания отражения оптическим рефлектометром непрерывного излучения.
8. Принцип измерения затухания отражения оптическим рефлектометром, работающим во временной области.
9. Сравнительный анализ методов измерения затухания отражения.

## Техника безопасности

При выполнении лабораторных работ, связанных с использованием когерентных лазерных источников излучения, необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не смотреть в выходной порт источника и на торцы коннекторов патч-кордов или оптических адаптеров.
2. Контроль качества оптического коннектора или адаптера допускается только при отсутствии в волокне излучения.
3. Для определения активности оптического волокна рекомендуется использовать измеритель оптической мощности или специальный индикатор излучения.

**Внимание!** Излучение, используемое в телекоммуникационных системных и измерительных приборах, невозможно обнаружить визуально.



## Материалы, инструменты и оборудование для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Оптический патч-корд (FC/UPC-FC/UPC)



4. Оптический адаптер FC



5. Оптический циркулятор



6. Источник оптического излучения FOD 2112



7. Измеритель оптической мощности FOD 1024



## Порядок выполнения работы

1. При подключениях к измерительному и кроссовому оборудованию предварительно протирайте оптические коннекторы безворсовой салфеткой, смоченной небольшим количеством изопропилового спирта.

Для подключения разъемов типа FC/PC совместите ключ на коннекторе с пазом на оптическом адаптере, зафиксируйте круглой накладной гайкой. Не прикладывайте чрезмерных усилий!



Рис. 1. Этапы подключения разъемов типа FC/PC

2. Произведите измерение затухания отражения оптическим рефлектометром постоянного излучения, реализованного на базе оптического тестера и оптического циркулятора.

2.1. Произведите калибровку относительно объекта с коэффициентом отражения минус 14.5 дБ (граница кварц/воздух). Для этого подключите источник излучения к порту № 1, а измеритель мощности к порту № 2 оптического циркулятора. К порту «3» циркулятора через розетку «4» подключить сертифицированный патчкорд «7» (см. рис. 2).

2.2. Включите и прогрейте источник излучения в течение 5-15 мин.

2.3. Снимите значения оптической мощности  $P_1$ , мВт на двух длинах волн ( $\lambda_1 = 1310$  нм и  $\lambda_2 = 1550$  нм) относительно свободного коннектора патчкорда «6» (граница кварц/воздух).

Занесите результаты в табл. 1 и 2.

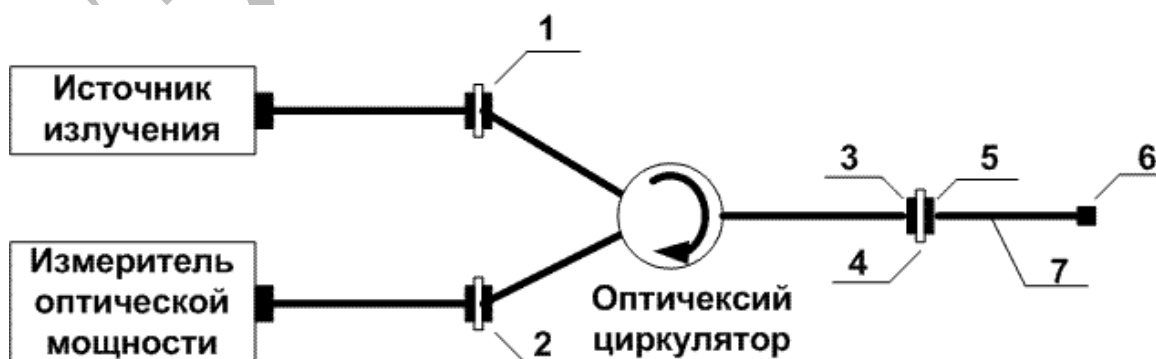


Рис. 2. Схема калибровки относительно объекта с коэффициентом отражения минус 14.5 дБ

3. Произведите измерение нежелательного отражения на разъемном соединении розетки «4» коннектора «3», армирующего циркулятор, и коннектора «5» сертифицированного патчкорда «7». Схема измерений представлена на рис. 3.

Чтобы исключить влияние отражений от коннектора «6» на границе кварц/воздух, используется оправка диаметром 14 мм, на которой делается не менее 6...8 витков патчкорда «7» (примерно в середине шнура), до установления стабильного отображения показаний на дисплее измерителя оптической мощности.

Снимите значения мощности нежелательного отражения  $P_2$ , мВт на двух длинах волн ( $\lambda_1 = 1310$  нм и  $\lambda_2 = 1550$  нм).

Занесите результаты в табл. 1 и 2.

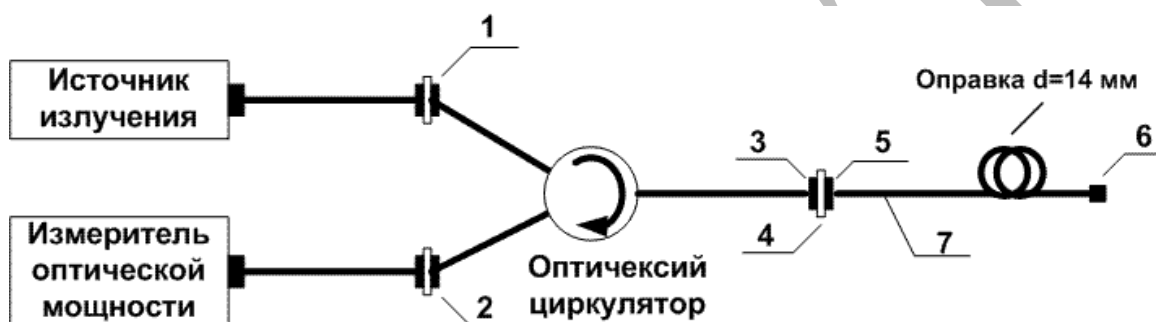


Рис. 3. Схема измерения нежелательного отражения

4. Произведите измерение затухания отражения оптического тракта ВОЛП. Схема измерения представлена на рис. 4. Подключите коннектор «6» патчкорда «7» к розетке кросса.

Снимите значения мощности  $P_3$ , мВт на двух длинах волн ( $\lambda_1 = 1310$  нм и  $\lambda_2 = 1550$  нм).

Для снижения погрешности измерения вследствие разброса параметров подключения оптических разъемных соединений произведите измерение мощности  $P_3$  три раза, переподключая разъем на оптическом кроссе.

Занесите полученные результаты в табл. 1 и 2 и рассчитайте среднее значение

$\langle P_3 \rangle$  по формуле:

$$\langle P_3 \rangle = \frac{1}{N} \sum_i^N P_{3,i}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество измерений;  $P_{3,i}$  – оптическая мощность при  $i$ -ом измерении.

Измерения произведите в двух направлениях А-В и В-А и для двух вариантов оптического тракта ЭКУ.



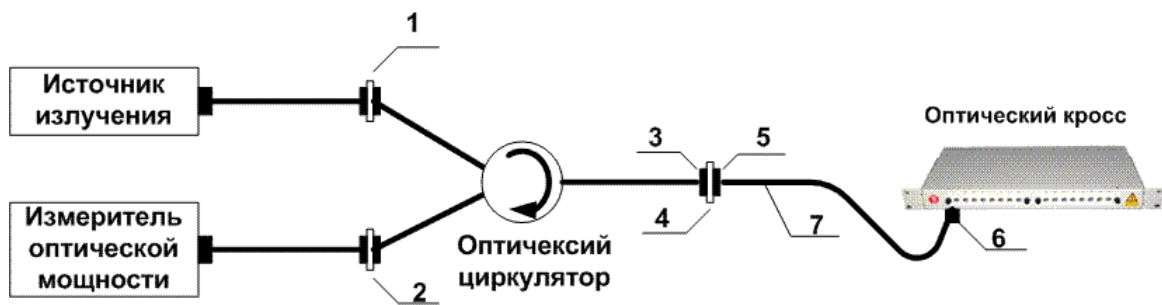


Рис. 4. Схема измерения затухания отражения оптического тракта ВОЛП

5. Занесите полученные результаты в табл. 1 и 2, и определите значения затухания отражения:

$$ORL = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1 \cdot 10^{1.45}}{\langle P_3 \rangle - P_2} \right), \text{ дБ} \quad (2)$$

Табл. 1. Результаты измерения ORL для  $\lambda = 1310$  нм

Номер ЭКУ	P <sub>1</sub> , мВт	P <sub>2</sub> , мВт	P <sub>3</sub> , мВт			<P <sub>3</sub> >, мВт	ORL, дБ
№1, напр. А-В							
№1, напр. В-А							
№2, напр. А-В							
№2, напр. В-А							

Табл. 2. Результаты измерения ORL для  $\lambda = 1550$  нм

Номер ЭКУ	P <sub>1</sub> , мВт	P <sub>2</sub> , мВт	P <sub>3</sub> , мВт			<P <sub>3</sub> >, мВт	ORL, дБ
№1, напр. А-В							
№1, напр. В-А							
№2, напр. А-В							
№2, напр. В-А							

6. Сравните полученные результаты с нормами на затухание отражения оптического тракта.

7. Произведите измерение ORL при помощи оптического рефлектометра, работающего во временной области.

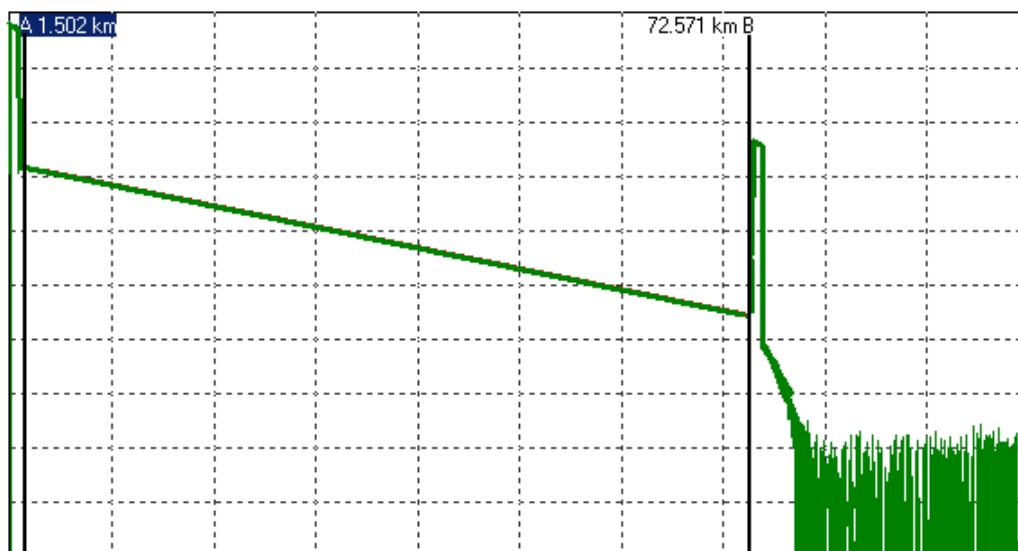
Загрузите программное обеспечение оптического рефлектометра OTDRTOOLrus.EXE. В пункте главного меню выберите “Файл” – “Откр. трассу” и выберите файл, соответствующий исследуемому ЭКУ. В наименовании используется следующий формат:

***Номер ЭКУ\_Направление измерения\_Длина волны.sor***

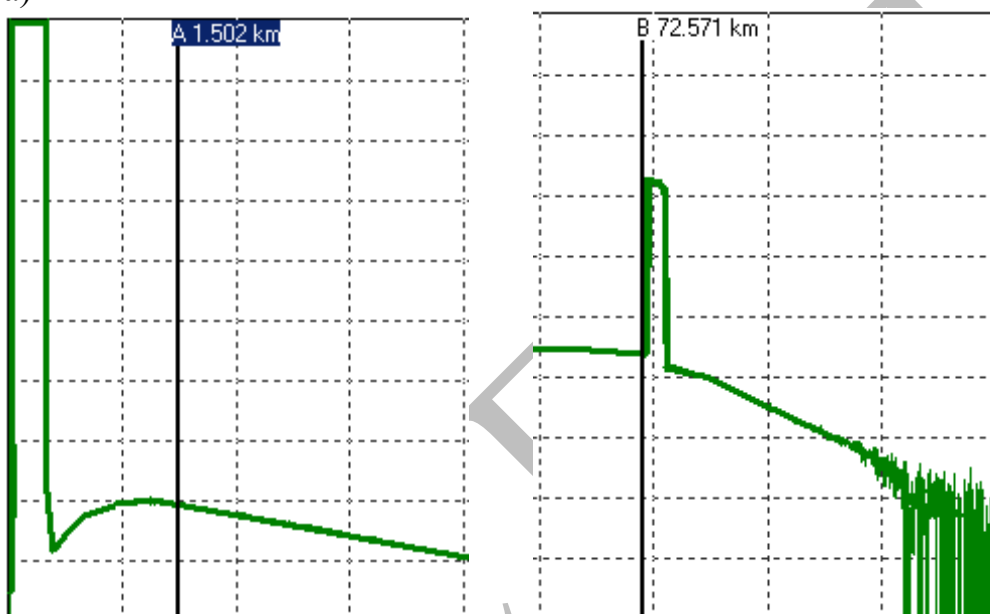
Например, рефлектограмме, снятой с ЭКУ №1 в направлении А-В на длине волны 1310 нм соответствует файл ***01\_AB\_1310.sor***

Выставьте маркеры для измерения ORL следующим образом: маркер А расположите в начале квазирегулярного участка рефлектограммы, отступив за мертвую зону, а маркер В расположите непосредственно в конце рефлектограммы.

Пример расстановки приведен на рис. 5.



а)



б)

в)

Рис. 5. Расстановка маркеров для измерения ORL

Для увеличения точности установки маркеров отмасштабируйте исследуемый участок. Для этого установите курсор на границе участка, который хотите увеличить и, удерживая левую кнопку мыши, выделите исследуемый участок.

Для установки маркеров наведите курсор на вертикальную черту и, удерживая левую кнопку мыши, переместите маркер в требуемую точку.

По показаниям маркера В определите оптическую длину исследуемого ЭКУ.

Измеренное значение ORL отображается в окне **Инфо: Маркеры** в строке **ORL/2т**.

Занесите полученные данные в табл. 3 и 4.

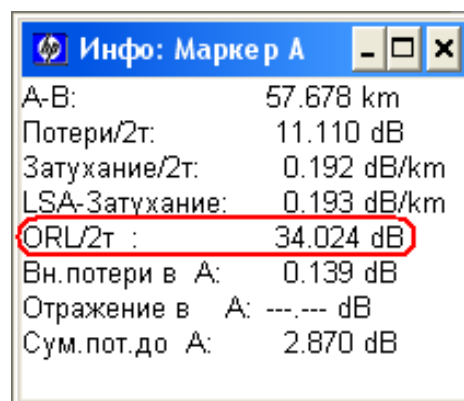


Табл. 3. Результаты измерения ORL для  $\lambda = 1310$  нм

Номер ЭКУ	L, км	ORL, дБ	Примечание
№1, напр. А-В			
№1, напр. В-А			
№2, напр. А-В			
№2, напр. В-А			

Табл. 4. Результаты измерения ORL для  $\lambda = 1550$  нм

Номер ЭКУ	L, км	ORL, дБ	Примечание
№1, напр. А-В			
№1, напр. В-А			
№2, напр. А-В			
№2, напр. В-А			

8. Сравните полученные значения ORL при измерении различными методами. Сделайте выводы о соответствии полученных результатов нормативным значением для оптических трактов.

## Приложение 1. Затухание отражения (ORL) оптического тракта

При распространении оптического излучения в линейном тракте волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) кроме прямого потока будет присутствовать также обратный поток, распространяющийся в направлении источника излучения. Обратный поток может оказывать влияние на работу волоконно-оптических систем передачи. Значительный уровень обратного потока может вызвать дестабилизацию работы лазерного источника и привести к флуктуациям мощности и фазы оптического излучения, а также к флуктуациям центральной длины волны излучения. В особенности подвержены воздействию обратного потока узкополосные источники излучения высокоскоростных систем передачи и систем со спектральным уплотнением, а также оптический аналоговый видео-сигнал. В системах оптического кабельного телевидения это приводит к снижению отношения оптический сигнал/шум, а в цифровых системах приводит к увеличению коэффициента ошибок.

Основными причинами возникновения обратного потока являются:

- релеевское рассеяние излучения на флуктуациях показателя преломления сердцевины оптического волокна (ОВ) и захват его волноводной структурой ОВ;
- френелевское отражение на стыковых неоднородностях, таких как сварные соединения, механические соединители и разъёмные соединения.

Для количественной оценки отражения на отдельных неоднородностях используется коэффициент отражения, определяемый по формуле

$$Refl = 10 \log_{10} \frac{P_{refl}}{P_{inc}}, \text{ дБ}$$

где  $P_{refl}$  - мощность сигнала, отраженного от неоднородности, Вт;  $P_{inc}$  - мощность сигнала, поступающая на неоднородность, Вт.

Коэффициент отражения измеряется в дБ и принимает отрицательные значения. Иногда используется параметр, называемый - потери на отражение, величина по модулю равная коэффициенту отражения, но противоположная по знаку.

Коэффициент отражения разъёмных соединений определяется типом полировки. Типовые значения приведены в табл. П.1.

Табл. П.1. Типовые значения коэффициента отражения

Тип полировки	Коэффициент отражения, дБ
PC (физический контакт)	< -30 ÷ -35
SPC (супер PC)	< -40 ÷ -45
UPC (ультра PC)	< -50 ÷ -55
APC (угловой контакт)	< -60 ÷ -70

Коэффициент отражения механических соединителей меньше, чем у оптических разъёмов за счет использования специальных иммерсионных гелей, со-

гласующих показатели преломления сращиваемых ОВ. Для типовых механических соединителей коэффициент отражения составляет не более  $-60 \div -65$  дБ.

Для сварных соединений производителями сварочных аппаратов, как правило, заявляется значение менее  $-80 \div -100$  дБ.

Для количественной оценки суммарного обратного потока, возвращающегося к источнику излучения из оптического тракта, используется параметр – затухание отражения (Optic Return Loss - ORL). ORL учитывает влияние всех факторов, приводящих к формированию обратного потока. Величина ORL определяется по формуле:

$$ORL = 10 \log_{10} \frac{P_0}{P_{refl}}, \text{ дБ}$$

где  $P_0$  - мощность сигнала, вводимого в оптический тракт, Вт;  $P_{refl}$  – суммарная мощность сигнала, возвращающегося к источнику, Вт.

Затухание отражения измеряется в дБ и принимает положительные значения.

Общий уровень ORL оптического тракта будет зависеть от следующих факторов:

- от параметров релеевского рассеяния оптического волокна и коэффициента захвата ОВ, то есть будет определяться особенностями конструкции ОВ;
- от наличия в оптическом тракте отражающих неоднородностей, их коэффициентов отражения и местоположения;
- от коэффициента затухания ОВ и затухания на стыковых неоднородностях;
- от протяженности оптического тракта.

Анализ зависимости ORL от протяженности оптического тракта показывает, что вначале по мере увеличения длины участка уровень ORL увеличивается. Это обусловлено накоплением излучения, распространяющегося в обратном направлении вследствие релеевского рассеяния в оптическом волокне. Затем, начиная с определенных значений длины оптического тракта уровень, ORL стабилизируется, что вызвано увеличением затухания оптического излучения как в прямом, так и в обратном направлении. Таким образом, можно сделать вывод о том, что для протяженных оптических трактов уровень ORL в основном будет определяться первыми 20-40 километрами в зависимости от коэффициента отражения разъема в конце оптического тракта.

Следует отметить, что существенный вклад в уровень ORL вносят оптические разъемные соединения:

- для протяженных оптических трактов ( $>50$  км) преобладающим является вклад оптического разъема на стороне источника излучения;
- для относительно коротких оптических трактов ( $> 50$  км) уровень ORL будет определяться коэффициентами отражения оптических разъемов на обеих сторонах.

Это объясняется тем, что на протяженных участках оптическое излучение, отраженное от разъема в конце линии, испытывает значительное затухание при распространении в обратном направлении. Аналогично и для любых отражаю-

щих неоднородностей в оптическом тракте – по мере удаления от точки ввода излучения их вклад в ORL снижается.

На рис. П.1. приведены зависимости ORL от протяженности оптического тракта со стандартным одномодовым ОВ для длины волны излучения 1550 нм для случая отражения в конце линии с коэффициентом -55 дБ, соответствующего подключенному разъему с полировкой типа UPC (сплошная линия) и границе раздела кварц-воздух с коэффициентом отражения -14.5 дБ (пунктирная линия).

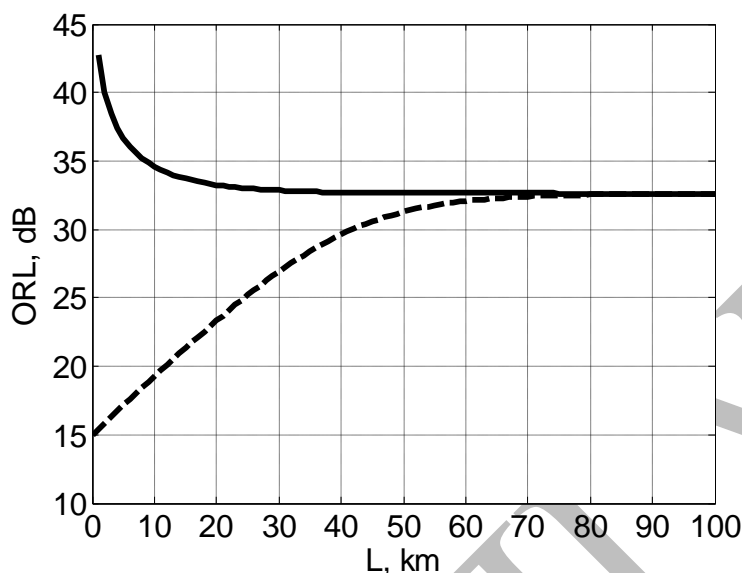


Рис. П.1. Зависимость уровня ORL от протяженности оптического тракта

Максимально-допустимые значения ORL для различных типов систем приводятся в различных телекоммуникационных стандартах и рекомендациях. На рис. П.2 приведена схема оптического тракта ВОЛП с аппаратурой спектрального уплотнения и оптическими усилителями, и указаны контрольные точки оптического тракта.

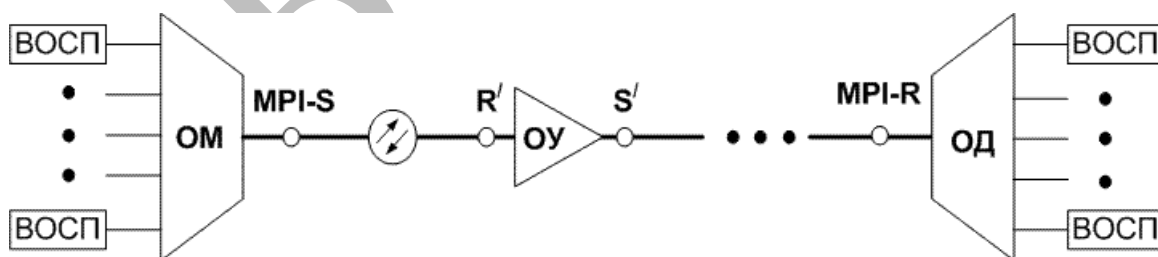


Рис. П.2. Контрольные точки оптического тракта ВОЛП

Как правило, для оптического тракта нормируются максимально-допустимые значения коэффициента дискретного отражения в оптическом тракте (между точками MPI-S и MPI-R) и минимальное значение затухания отражения ORL, контролируемое в точке MPI-S (см. рис. П.2.). Для ВОЛП с оптическими усилителями дополнительно нормируются коэффициенты отражения в точках R' и S' – не более минус 40дБ.

В табл. П.2. приводятся нормируемые значения для следующих рекомендаций МСЭ-Т: ITU-T G.691 Оптические интерфейсы одноканальных систем STM-64, STM-256 и других систем SDH с оптическими усилителями; ITU-T G.692 Оптические интерфейсы многоканальных систем с оптическими усилителями; ITU-T G.957 Оптические интерфейсы оборудования, подключаемого к синхронной цифровой иерархии; ITU-T G.959 Оптическая транспортная сеть, интерфейсы физического уровня; ITU-T G.983.3 Система широкополосного оптического доступа с расширенными функциональными возможностями за счет использования распределения по длинам волн; ITU-T G.984.2 Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (G-PON).

Табл. П.2. Нормативные значения ORL

Рекомендации МСЭ-Т	Максимальный коэффициент отражения в оптическом тракте	Минимальный уровень ORL
G.691	-27 дБ	>24 дБ
G.692		
G.957		
G.959		
G983.3		>32 дБ
G984.2		

Меры снижения ORL оптического тракта линии: использование оптических коннекторов с угловой полировкой (около 8°) типа APC; использование оптических изоляторов и фильтров на стороне источника излучения.



## Приложение 2. Методы измерения затухания отражения (ORL) оптического тракта

Существует несколько методов измерения ORL в оптическом тракте. На практике, как правило, используется два метода:

- с использованием оптического рефлектометра непрерывного излучения (Optical Continuous-wave Reflectometer - OCWR), также называемый как измеритель ORL;
- с использованием оптического рефлектометра, работающего во временной области (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR).

Стандартный OCWR состоит из стабилизированного источника оптического излучателя, измерителя оптической мощности, оптического разветвителя или циркулятора, а также блока обработки (см. рис. П.3).

OCWR позволяет измерять суммарный уровень ORL оптического тракта, включая оптические разъемы на оконечных устройствах.

Измерение ORL с помощью OCWR состоит из двух этапов. Первый этап заключается в предварительной калибровке устройства для учета нежелательных отражений от элементов схемы OCWR (см. рис. П.3).

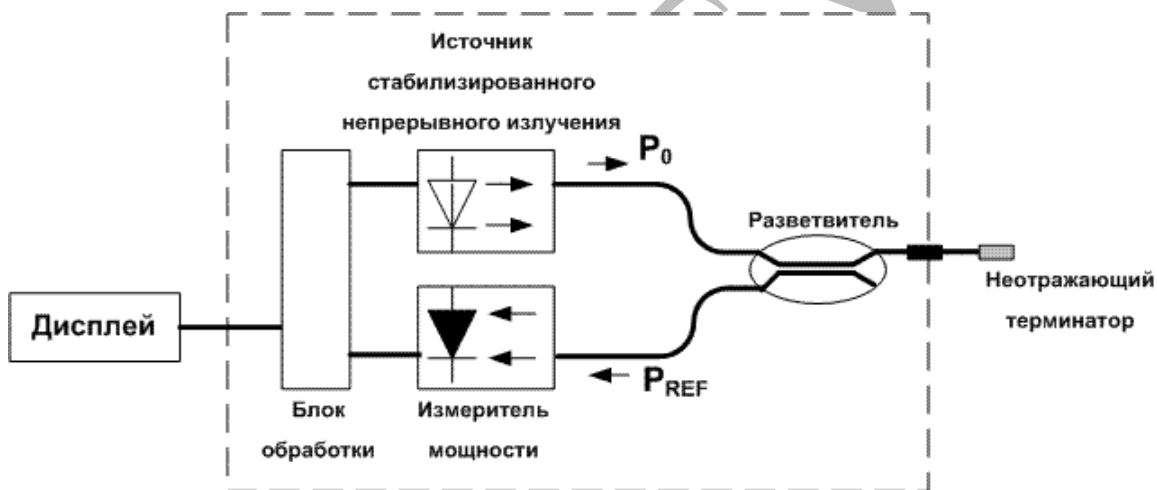


Рис. П.3. Схема калибровки OCWR

В некоторых реализациях данный этап также включает калибровку относительно эталонного отражающего элемента. Калибровочные этапы должны выполняться при каждом измерении. На втором этапе производится подключение OCWR к оптическому тракту и определяется уровень ORL (см. рис. П.4).

Для снижения влияния отражения на противоположной стороне оптического тракта рекомендуется использовать неотражающий терминатор, подключаемый к соответствующему оптическому порту на противоположной стороне. В качестве неотражающего терминатора может использоваться оптический коннектор с угловой полировкой APC или специализированный терминатор с иммерсионным гелем.

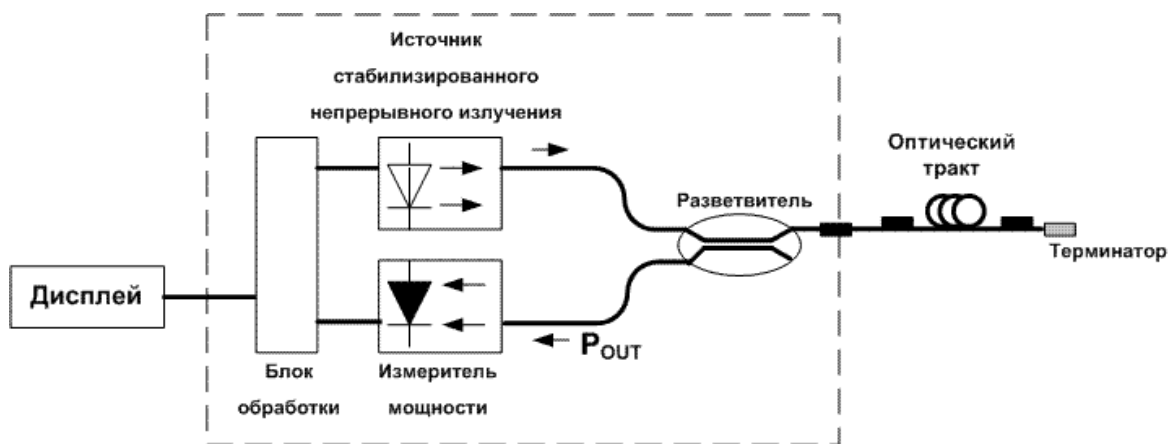


Рис. П.4. Схема измерения ORL при помощи OCWR

Альтернативным методом измерения ORL является использование импульсного оптического рефлектометра, работающего во временной области. Схема измерения ORL с использованием OTDR приведена на рис. П.5.

В отличие от OCWR принцип работы OTDR заключается в использовании зондирующих импульсов определенной длительности и измерении распределения мощности обратно-рассеянного потока по длине волокна.

Для оценки ORL используется вычисление интегральное исчисление мощности принятого импульса относительно ширины импульса излучения и длины измеряемого участка волокна:

$$ORL = 10 \log \frac{P_0 \cdot \Delta t}{\int P_r(z) dz},$$

где  $P_0$  - выходная мощность сигнала OTDR;  $\Delta t$  - длительность зондирующего импульса;  $P_r(z)$  - мощность обратного потока, возвращающаяся с точки  $z$ .

Интеграл от  $P_r(z)$  определяет суммарную мощность обратного потока, пределы интегрирования определяются в расположением курсоров на рефлектограмме.

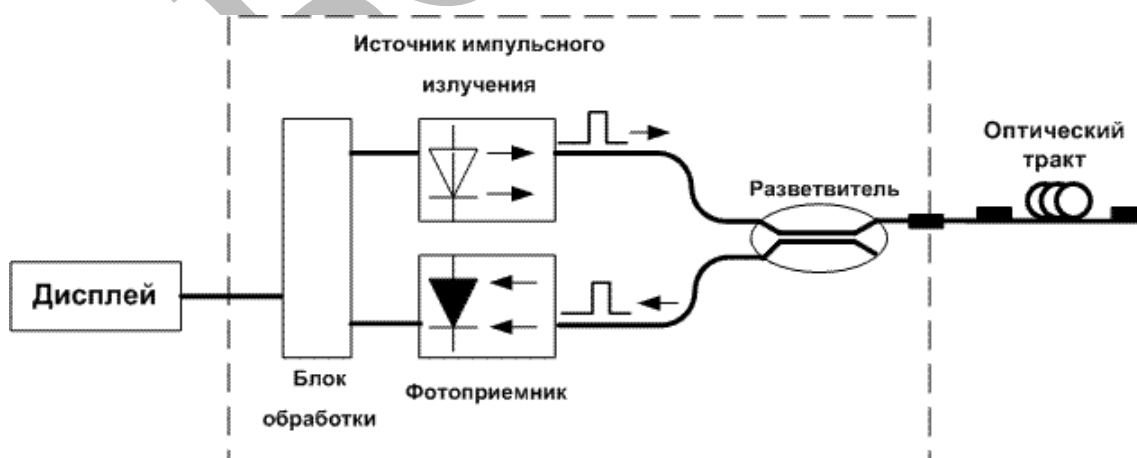


Рис. П.5. Схема измерения ORL при помощи OTDR

Для измерения уровня ORL на рефлектограмме необходимо расставить два

маркера на границах исследуемого участка.

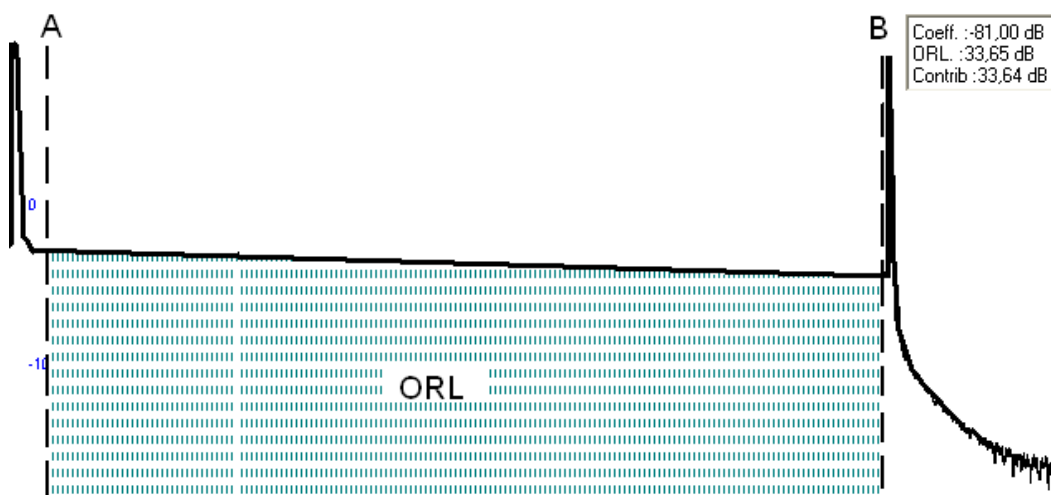


Рис. П.6. Измерения ORL

Сравнительный анализ методов измерения ORL.

Отметим основные достоинства OCWR при измерениях ORL:

- точность измерения составляет  $\pm 0.5$  дБ;
- быстрота получения результата;
- более простая конструкция и сравнительно низкая стоимость по сравнению с OTDR.

К недостаткам следует отнести:

- необходимость проведения опорных измерений;
- необходимость использования неотражающих терминаторов на коротких оптических трактах;
- невозможность локализации отдельных отражающих неоднородностей.

Основными достоинствами измерения ORL с использованием OTDR являются:

- возможность локализации отдельных отражающих неоднородностей в оптическом тракте;
- односторонние измерения, отсутствует необходимость использования неотражающих терминаторов;
- опция измерения ORL реализована во многих коммерческих OTDR.

К недостаткам следует отнести:

- точность измерения составляет  $\pm 2 \div 4$  дБ и зависит от параметров измерения;
- результат измерения ORL не включает оптические разъемы на конечном оборудовании.

Вследствие того, что OCWR обеспечивает высокую точность результатов, этот метод более пригоден для паспортизации смонтированных элементарных кабельных участков ВОЛП.

Однако при проведении ремонтно-восстановительных работ и при локализации объектов с повышенным уровнем отражения в оптическом тракте целесообразно использование OTDR. Кроме того, в большинстве современных коммерческих OTDR реализована функции измерения ORL.