

## **Измерение потерь в оптическом волокне. Основные методы и приборы.**

С развитием волоконно-оптических сетей и усложнением методов уплотнения передаваемых потоков информации, меняются как сами методы измерений, так и требования к точности получаемых результатов. Первоначально методы были предельно просты и ограничивались подачей в волокно оптического излучения определенной длины волны и мощности с последующей регистрацией остатков прошедшего по волокну света и обработкой полученного результата предварительно откалиброванным измерителем. Такова суть измерительных технологий, которая сохранилась до сегодняшнего дня, сильно изменившись по содержанию и сложности. В чем же сущность произошедших изменений?

Требования к различным сегментам ВСС (взаимоувязанной сети связи) сильно различаются, и те требования, которые подходят для локальных или корпоративных сетей, явно не устроят операторов, использующих технологии высокоскоростной передачи больших потоков данных на протяженной сети. Потребности в быстрой передаче на большие расстояния приводят к изменению старых и появлению новых принципов и технологий связи. Это накладывает свой отпечаток и на основные тенденции измерительных процессов. Появление новых технологий и увеличивающееся влияние эффектов, на которые раньше просто не обращали внимания, заставляет искать пути преодоления ограничений по скорости. Начинают меняться требования к среде передачи, которая реагирует на новые условия усложнением своей структуры. В свою очередь, изменения структуры среды передачи приводят к появлению новых факторов и явлений, без учета которых невозможно правильно оценить работоспособность волокна и пригодность его для тех или иных применений. Таким образом, повышение скорости и увеличение объемов передаваемой информации приводят к изменениям технологий передачи и среды распространения света, что способствует появлению других ограничений на дальнейший рост скорости и, соответственно, последующему очередному изменению среды. Все это не может не влиять на методы измерения, которые обязаны учитывать новейшие веяния в современных технологиях связи.

Самый сложный вопрос, на который необходимо получить ответ при проведении любых измерений звучит следующим образом: что мы желаем измерить, и что мы получаем в результате измерений? Казалось бы, все очень просто – стоит задача измерить потери в оптическом волокне или в каком-либо устройстве с конкретными параметрами. Для решения такой задачи необходимо ввести в данное волокно или устройство свет с определенными заранее известными свойствами (уровнем мощности, видом поляризации, модовым составом и пр.) и замерить на другом конце остатки мощности введенного в волокно излучения, а затем сравнить их с уровнем исходного тестирующего сигнала. До сих пор, в большинстве случаев, операторы измерительного оборудования так и поступают. Учитывая запас кабельных систем по энергетике, особенно если он достаточно велик, и проводя измерения по критерию «хороший-плохой» такие результаты вполне годятся, ведь большинство проводимых измерений не выходят за рамки определения соответствия потерь (или уровней) соответствующим ведомственным нормам. Однако для точной оценки возможностей определенного канала и степени его готовности к работе с новыми системами передачи, их совершенно недостаточно. Небольшие количественные и качественные изменения подсистем, использующих данный канал, особенно если они происходят достаточно регулярно, определенно через некоторое время исчерпают весь запас бюджета потерь или приведут к появлению новых влияющих факторов, которые могут вызвать сбои и нарушения связи. Поэтому точное знание запасных возможностей и готовности систем к расширению и модернизации позволит определить наступление момента качественных изменений, необходимых для данного канала и спрогнозировать необходимость его ремонта, модификации или полной замены.

Итак, что мы желаем измерить?

Ответ банально прост – конечно же, затухание сигнала (потери мощности) в тестируемом устройстве (под устройством в данном случае будем понимать любой отдельный компонент оптической кабельной системы, например отдельное волокно или отдельно взятая оптическая розетка и др.). Но полное затухание состоит из нескольких компонентов. Во-первых, из собственного затухания, вызванного поглощением и рассеянием; во-вторых, дополнительного затухания, появившегося в процессе транспортировки, инсталляции и старения устройства; в-третьих, затухания из-за отражений от входного и выходного торцов световода, в-четвертых, потерь из-за неидеальности геометрических форм тестируемого устройства, в-пятых, ... и т.д. Каждый из компонентов обладает определенными допусками и погрешностями при измерении параметров. К тому же следует учесть, что затухание измеряют или на фиксированной длине волны света или во всем спектральном диапазоне пропускания оптического компонента, в зависимости от области применения устройства.

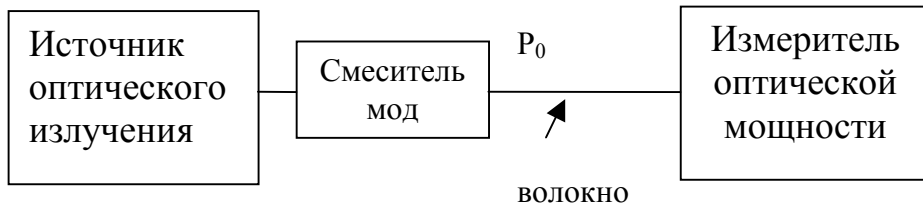
Теперь отвлечемся от первого вопроса и рассмотрим основные методы измерения потерь.

### **Метод оптического рефлектометра (метод OTDR – optical time domain reflectometer).**

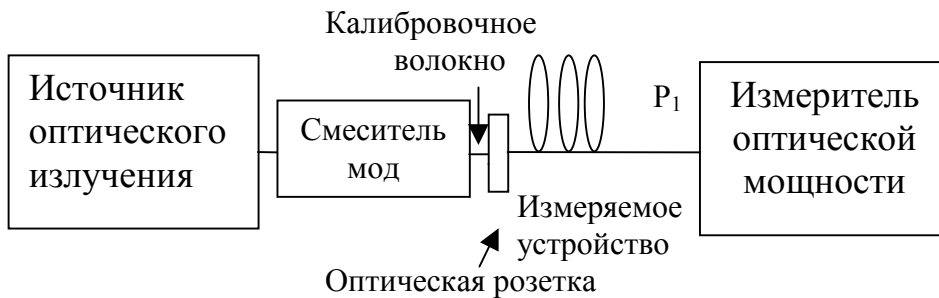
Метод OTDR предназначен, в первую очередь, для оценки распределения потерь по оптической длине волокна и определения местонахождения отдельных неоднородностей. Он заключается в том, что в оптическое волокно вводится импульс света, который, при распространении вызывает рассеяние Рэлея, вызванное неупорядоченностью структуры стекла и микроскопическими изменениями его состава, приводящими к небольшим изменениям показателя преломления, распределенным по длине волокна. Такое рассеяние является основной причиной потерь в кварцевых волокнах. Часть рассеяния Рэлея распространяется в обратном направлении к источнику, в результате чего его можно принять и обработать. Таким образом, вводя в волокно оптический импульс и принимая отраженное от неоднородностей показателя преломления излучение, вызванное этим импульсом, можно получить карту распределения различных неоднородностей по длине волокна, обычно называемую рефлектограммой. Основное преимущество применения приборов OTDR заключается в том, что измерения можно проводить, располагаясь с прибором на одном конце волокна. Однако наряду с этим достоинством, метод имеет и определенные недостатки. Во-первых, это наличие «мертвой зоны» - участка волокна, располагающегося непосредственно у прибора, на котором измерения невозможны. Во-вторых, недостаточная точность рефлектометра; в-третьих, небольшой динамический диапазон; в-четвертых, высокая стоимость измерительного прибора. Кроме того, оптическое волокно может обладать разными потерями при передаче сигналов с той или с другой стороны, что приводит к необходимости проведения двухсторонних измерений, а это ликвидирует одно из основных преимуществ приборов OTDR (другим основным преимуществом наряду с односторонними измерениями является наглядность получаемых результатов).

### **Метод вносимых потерь.**

Базовая схема измерений потерь приведена на Рис. 1.



а) калибровка измерителя перед началом измерений.



б) проведение измерений

Рис. 1. Основная схема проведения измерений ослабления сигнала методом вносимых потерь.

Потери в измеряемом устройстве:  $a \text{ (дБ)} = P_0 \text{ (дБм)} - P_1 \text{ (дБм)}$

Смеситель мод – специальное устройство, предназначенное для выравнивания оптических мощностей отдельных мод и установления режима равновесного распределения энергетике мод – РРМ (об этом подробнее написано ниже). Следует заметить, что многие рекомендуемые зарубежными разработчиками методики измерения затухания требуют обязательного применения смесителей при проведении любых измерений, в том числе и при измерении потерь с помощью импульсного оптического рефлектометра (OTDR). Этому же требуют и действующие в России ГОСТы. Примем это за обязательное условие, и в нижеследующих схемах будем иметь в виду присутствие смесителя, не изображая его.

В качестве источника излучения применяют светодиод или лазер с фиксированной длиной волны или лампу белого света с монохроматором при измерении спектральных потерь на отдельных длинах волн.

В приведенной выше схеме на Рис.1а. в целом обеспечиваются условия ввода оптического излучения в измеряемое волокно. Считается, что для большинства случаев таких условий ввода вполне достаточно. Однако, после присоединения измеряемого устройства к калибровочному волокну, условия ввода излучения могут измениться, поскольку при проведении калибровки по Рис.1а. свет из волокна полностью попадает на фоточувствительную площадку измерителя, а при подключении измеряемого устройства в него, вследствие неточной юстировки или различий в геометрии сердцевин волокон, в измеряемое волокно может попасть не вся, а лишь часть мощности, вышедшей из калибровочного волокна. Для того чтобы снизить, а в некоторых случаях и полностью компенсировать такую погрешность, желательно схему Рис.1а несколько усложнить:

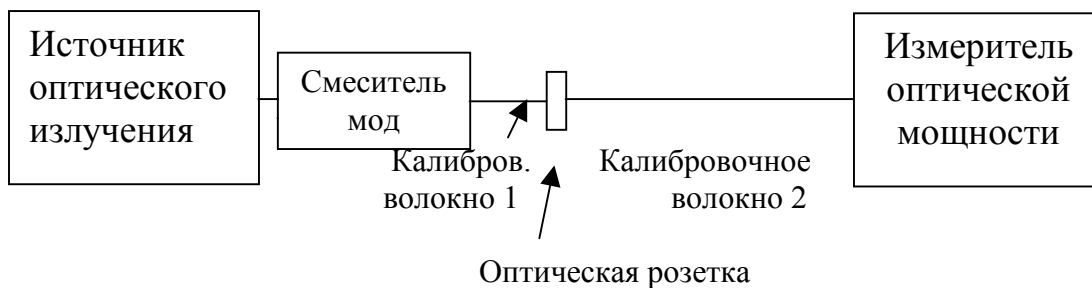
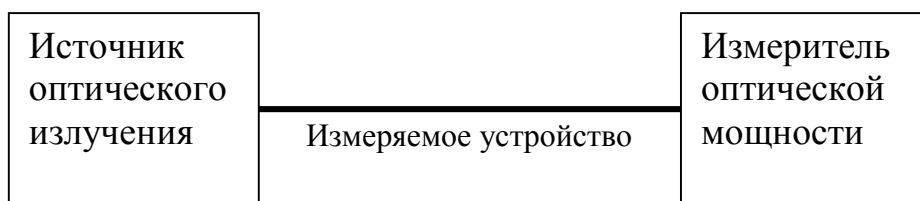


Рис.2. Усовершенствованная схема калибровки измерителя.

Измеряемое устройство включается в разрыв между двумя калибровочными волокнами. При этом как калибровочные волокна, так и измеряемое устройство по возможности должны быть выполнены из одного и того же волокна (если измеряемое устройство является волокном). При таком включении появляются две оптических розетки, каждая из которых вносит определенные паспортные потери. Эти потери могут быть впоследствии учтены и исключены из результатов.

**Метод обрыва.**

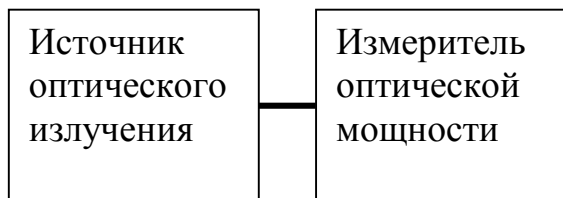
Приведенные выше схемы предназначены для проложенного волокна, оконцованного с обеих сторон стандартными коннекторами. Но во многих случаях требуется измерить потери в неоконцованном волокне, которое, к тому же, не имеет хорошо обработанных торцов. В таких случаях приходится применять другой метод измерения и принимать специальные меры по подготовке торцов. При этом используют так называемый «метод обрыва».



а) измерение полных потерь в измеряемом устройстве.

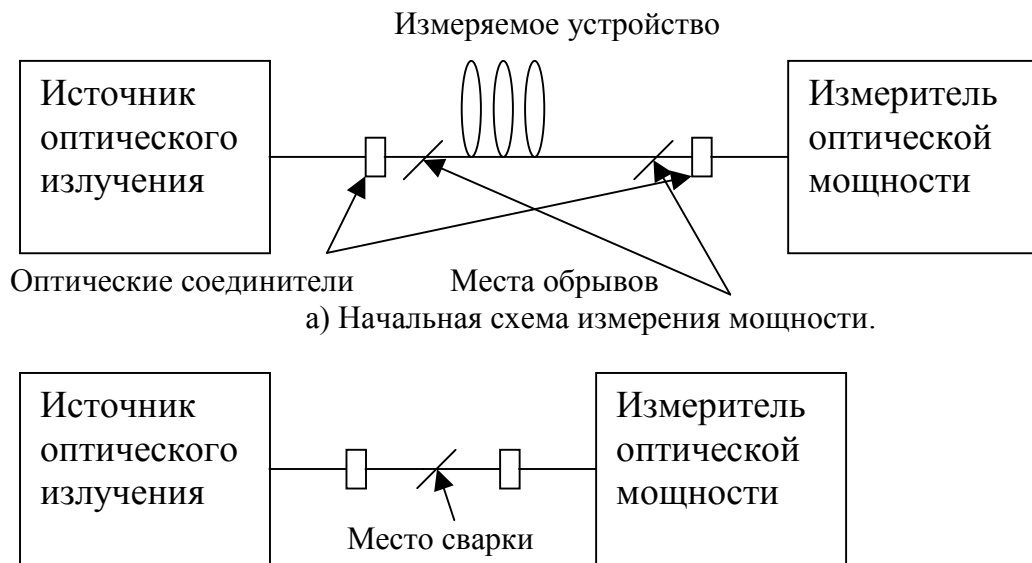


б) обрыв волокна вблизи источника.



в) измерение введенной в тестируемое волокно мощности.

Рис. 3. Измерение потерь методом обрыва.



б) Схема определения вводимой в устройство мощности.

Рис.4. Модифицированный метод обрыва с использованием сварки.

Точность измерения потерь методом обрыва существенно выше, чем методом вносимых потерь, поскольку при измерении введенной в волокно мощности вся она попадает на фоточувствительную площадку измерителя, размеры которой достаточно велики по сравнению с диаметром оптического волокна (1-5 мм и 10-50-62,5 мкм соответственно). Кроме того, в данном методе отсутствует разброс параметров на первом стыке (на оптической розетке, см. Рис. 2), возникающий при переключении шнуров и волокон.

Многие зарубежные методики определения потерь рекомендуют проводить измерения с максимальным использованием сварных соединений, потери в которых почти не влияют на величину реальных потерь в тестируемом устройстве (См. Рис.4).

Достоинством такого метода является то, что здесь нет необходимости переключать волокна и, соответственно, менять условия ввода, а погрешность определяется лишь качеством выполненных сварочных работ, которая может составлять лишь 0,01 дБ.

#### Метод измерения возвратных потерь.

Для измерения возвратных (или обратных) потерь, большая величина которых может внести значительное ухудшение качества передачи в системе связи (особенно однододовой) применяется метод, получивший в западной литературе название OCWR – optical continuous wave reflectometer – оптический рефлектометр длительного излучения. Он изображен на Рис.5.

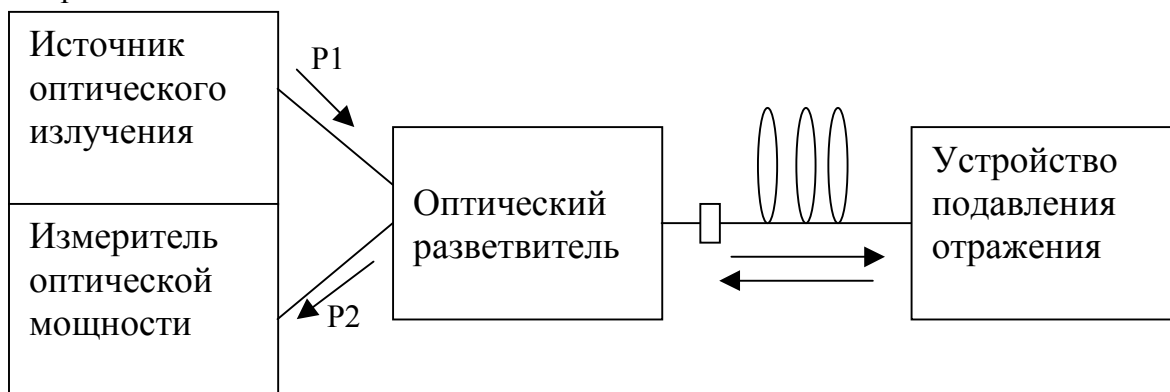


Рис.5. Измерение возвратных потерь методом рефлектометра длительного излучения.

Оптические возвратные потери (в английской аббревиатуре - ORL) - это отношение оптической мощности, вернувшейся назад (к источнику излучения) к мощности, введенной в систему источником. По сути, это смесь отражений от имеющихся в волокне неоднородностей и обратного рассеяния Рэлея. В одномодовых системах большие возвратные потери могут стать главным источником возникновения и передачи ошибочных битов. Особенно опасными бывают отражения от торцов световодов в коннекторах, где величина отражения может достигать 4 - 5% от падающей на них мощности. Отраженный свет попадает в кристалл лазерного диода и может вызвать перескок моды и модалый шум.

Вследствие того, что величина динамического диапазона требуемого для измерения затухания отражения составляет -30... -80 дБ, для таких измерений необходим лазерный источник с большой мощностью излучения. Кроме того, излучение лазера должно быть достаточно стабильно, поскольку измерения проводятся в течение продолжительного времени.

Точность метода OCWR зависит от вносимых потерь и отражений компонентов. Для повышения точности должны быть выполнены 2 условия:

- 1) прибор должен быть откалиброван по известному отражению;
- 2) должны быть измерены фоновые излучения (фоновые возвратные потери - уровни мощности, отраженные от устройств, не подлежащих измерению - которые затем необходимо вычесть из результатов измерения).

С целью калибровки OCWR для точных измерений, к выходу источника подключается калибровочный кабель. Затем измеряется уровень вернувшейся мощности, с которым сравниваются все последующие измерения.

Возвратные потери выражаются в децибелах. Так, если вернувшаяся к источнику мощность составляет 0,001 часть от введенной мощности, то возвратные потери будут -30дБ (-10lg0,001). Чем больше значение возвратных потерь (по абсолютной величине), тем меньше их влияние на источник излучения и величину погрешности измерения потерь в волокне.

Для всех вышеперечисленных методов измерения обязательным условием их проведения является обеспечение режима равновесного распределения мод (PPM). Свет, распространяющийся по волокну, существует в виде множества отдельных мод, обладающих различной энергией. Так как в процессе распространения с модами происходят изменения, вызванные как внешними, так и внутренними причинами, то и энергия их не остается постоянной, а все время меняется, в том числе, путем преобразования одной моды в другую. Однако такое перераспределение энергии происходит не на всем протяжении распространения (ограниченном, например, длиной волокна), а на расстоянии, после которого наступает PPM – равновесное распределение мод, при котором энергетика отдельных мод остается неизменной и дальнейшее перераспределение энергии в нормальных условиях не происходит. При этом ослабление света (потери оптической мощности) будет пропорционально уже не длине волокна, а квадратному корню из величины пройденного расстояния.

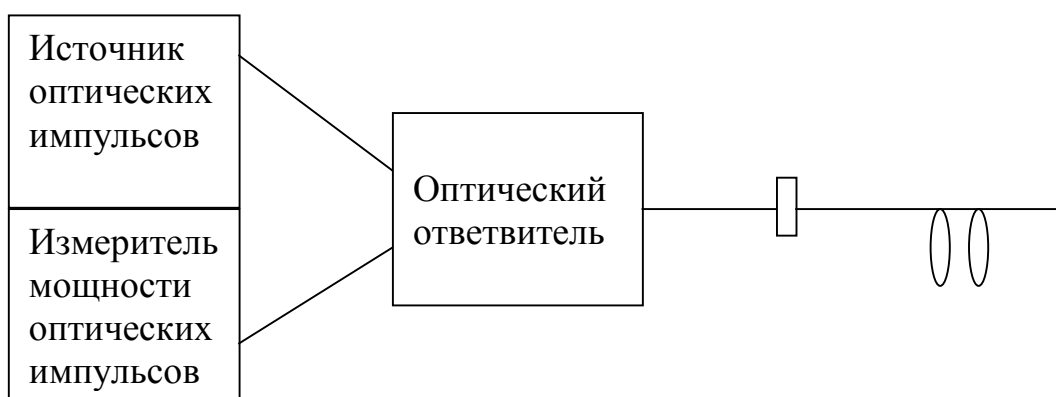
С точки зрения точности определения потерь, происходящих при распространении света, PPM является определяющим параметром. Большинство производителей оценивают величину потерь в своих изделиях исходя из значений, получившихся в результате установления режима PPM. Поэтому для повышения точности в процессе измерений необходимо выполнить процедуры по установлению такого режима. Это касается как многомодовых, так и одномодовых световодов. Одномодовые световоды в зависимости от соотношения длины волны, диаметра сердцевинки и разности показателей преломления сердцевинки и оболочки могут иметь многомодовый режим распространения света. Поэтому даже при облучении их торца одномодовым источником вследствие преобразования мод на

неоднородностях и изгибах в них появляется некоторое количество дополнительных мод, обладающих разной энергией.

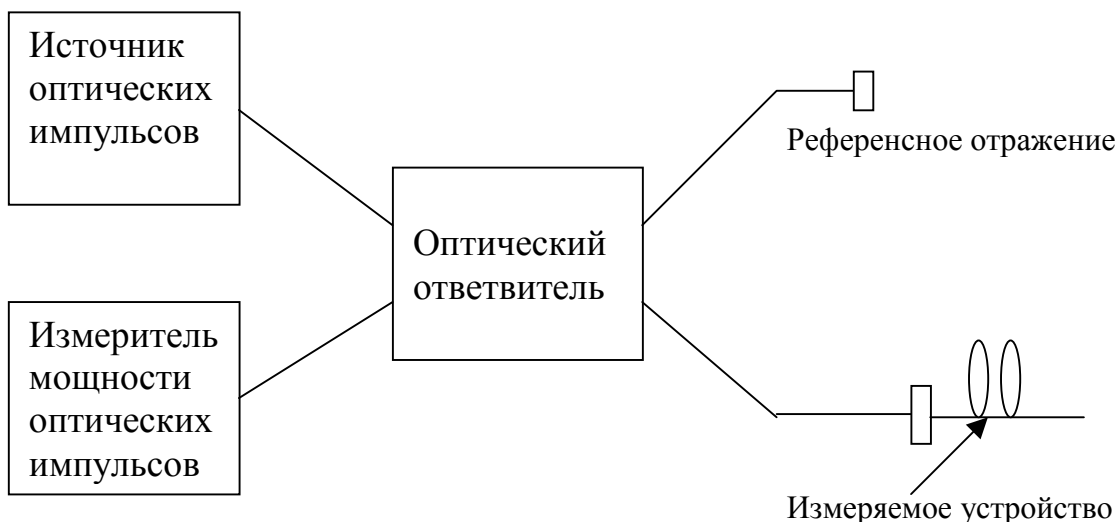
Кроме установления РРМ перед проведением измерительных процедур надо устранить влияние оболочечных мод, то есть той части оптической мощности, которая распространяется по оболочке и, не обладая информационным потенциалом, может увеличить погрешность измерения. С этой целью на выходе смесителя мод устанавливается фильтр мод оболочки, обеспечивающий их удаление.

### Метод дискретного оптического рефлектометра.

Метод дискретного оптического рефлектометра был разработан для измерений на коротких длинах многоканальных систем и заключается в зондировании волокна импульсами, которые вводятся в волокно от стабилизированного импульсного источника с помощью оптического ответвителя, как показано на Рис.6а.



а. базовая схема метода измерения обратного отражения.



б. схема метода дискретного рефлектометра с калибровкой по отражению.

Рис.6. Измерение отражения с помощью метода дискретного оптического рефлектометра.

Метод дискретного рефлектометра применяется для измерения величины отраженной от неоднородности оптической мощности. Вышедшие из источника оптические импульсы через ответвитель попадают в измеряемое устройство. Отраженные от неоднородности импульсы попадают в фотоприемник, усилитель и затем подвергаются дискретизации (разбиению по времени) и квантуются по амплитуде. Дискретизация

процесса по времени и амплитуде позволяет выделить и затем измерить отдельные отражения.

Фотодиод, на который попадает возвратившаяся часть света, это устройство с очень высокой линейностью, поэтому амплитуда отражений прямо пропорциональна отражательной способности неоднородности или компонента оптической кабельной системы. Калибровка таких приборов производится по отражению от торца коннектора, составляющего примерно 4-5% падающей мощности. Это отражение применяется для создания опорного уровня (относительно которого производятся все последующие измерения) и образуется путем подключения к четвертому выходу ответвителя короткого волокна с хорошо отполированным торцом (см. Рис.6б).

Теперь попробуем дать ответ на второй вопрос, – что же мы получаем в результате измерений? Ответом на него будет утверждение, что результатом измерений будет та часть оптической мощности источника, которую удалось ввести из измеряемого волокна (устройства) во второе (иногда называемое приемным) калибровочное волокно или непосредственно в фоточувствительный элемент. После этого различными способами из полученного результата вычитается мощность, которая вводится в тестируемое устройство, а полученное значение (без учета знака) и принимается за истинное затухание световой энергии. Общие потери мощности при этом происходят на вводе оптического излучения из источника в первое калибровочное волокно (иногда называемое передающим), на переходе из передающего волокна в измеряемое устройство и на переходе света из измеряемого устройства в приемное волокно. Существуют также и потери на приеме излучения измерительным устройством, которые делятся на две составляющие: потери на отражении от фоточувствительной поверхности фотодиода и потери при оптоэлектронном преобразовании. Последние потери учитываются при создании измерительных устройств и не вносят дополнительных погрешностей в результаты измерения. Нас же интересуют лишь потери в измеряемом устройстве, поэтому остальные компоненты потерь необходимо устранять. Таким образом, в результате измерений получается сумма потерь в различных оптических, оптоэлектронных, электрооптических и электронных компонентах, через которые распространяется тестовый сигнал. Точность определения затухания именно в тестируемом оптическом устройстве заключается в высококачественном выделении и устранении «мешающих» потерь из этой смеси (сюда включается качество, как измерительных процедур, так и математической обработки полученных результатов). При этом относительная погрешность результата измерений (не путать с относительной погрешностью измерительного прибора) согласно ГОСТ 26814-86 не должна превышать 20% (при измерении потерь в волокне).

После рассмотрения основных схем измерения потерь, необходимо выяснить внешние и внутренние условия, при которых данные процедуры внесут наименьшие погрешности в результат. Способ возбуждения световода, изменения температуры и давления, наличие макро- и микро-изгибов не считаются источниками основной погрешности измерения затухания. Они лишь должны учитываться при подведении окончательных результатов в условиях, отличных от паспортных данных, а при проведении измерений в нормальных стабильных условиях вообще не вносят (точнее, не должны вносить) никакой погрешности.

Если длина волны излучения источника системы передачи, и длина волны оптического генератора измерительного прибора не совпадают, то возможна ошибка измерения (несовпадение истинных потерь передаваемого оптического сигнала и полученных результатов измерения), особенно при наличии в кабельной системе компонентов с сильной спектральной зависимостью. В этом случае необходимо определение спектральных характеристик измерительного прибора с последующим



пересчетом полученных значений либо применение более сложных спектральных приборов.

Если кабельная система состоит из нескольких соединенных между собой участков, то измерение общего затухания не позволяет однозначно определить ее реальные потери при передаче сигналов. В этом случае необходимо исследовать зависимость потерь от типа моды и распределение мощности по модам. Это более сложные измерительные процедуры, которые можно использовать лишь в самых неблагоприятных случаях, требующих ответственного подхода к определению затухания.

### Приборы для измерения потерь.

Теперь можно рассмотреть основные приборы, применяемые для оценки потерь в волоконно-оптических устройствах.

Измерительные устройства оптического диапазона можно подразделить на две группы: рабочие средства измерений и специализированные установки. Рабочие средства имеют малые габариты и вес, автономное питание, позволяют быстро и с приемлемой точностью проводить измерения базовых параметров как в лабораторных, так и в полевых условиях. Вследствие сравнительно небольшой стоимости такими приборами оснащаются монтажные бригады, применяющие их достаточно часто в сложных полевых условиях.

Специализированные установки применяются в случаях, когда требуется высокая точность или измерение параметров, не доступных рабочим средствам измерений.

К основным рабочим средствам измерений относятся тестеры, рефлектометры и локаторы дефектов. Наиболее наглядную картину распределения потерь по длине оптического волокна дает **рефлектометр**. Методика измерений – OTDR. Чаще всего на практике встречаются приборы с динамическим диапазоном 30...35 дБ. Длина волны выбирается по длине волны передачи. Рефлектометры комплектуются блоками (обычно сменными) на длины волн 0.85 и/или 1.3 мкм для многомодовых применений и 1.31 и/или 1.55 мкм для

одномодовых применений. Наиболее удобны рефлектометры с двумя длинами волн. Рефлектограмма, отмасштабированная по длине кабеля, дает наглядное представление о расположении дефектов по длине волокна и степени их влияния на передаваемый сигнал. По величине скачка уровня сигнала в месте обнаруженного дефекта можно судить о величине вносимых потерь. Однако это косвенные измерения, так как скачок может быть вызван не потерями на поглощение, а отражением от стыка волокон. Более того, на

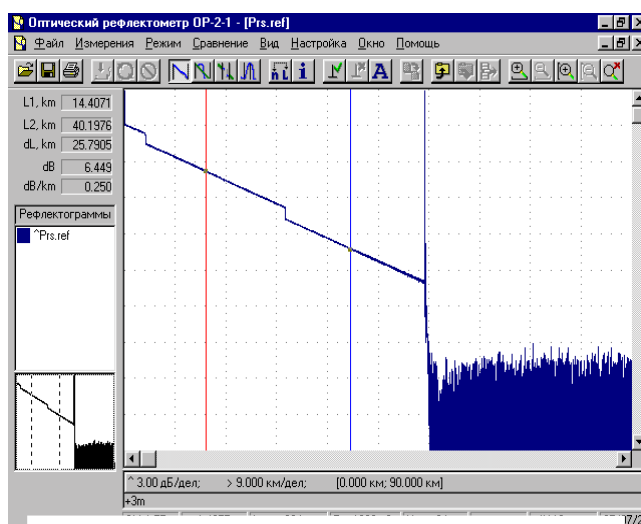
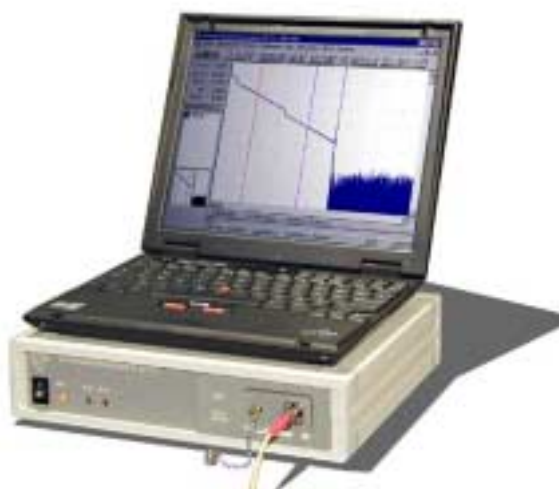


Рис. 7 Рефлектометр OP2-1 и рефлектограмма волоконно-оптической линии связи.

рефлектограмме могут быть скачки с увеличением уровня сигнала в точках стыка волокон с различным показателем преломления. Идентифицировать скачки сигнала на рефлектограмме можно получив аналогичную с другого конца линии. Неоднородности, вызывающие исключительно потери сигнала, будут проявлять себя скачками с уменьшением сигнала на обоих рефлектограммах, тогда как стыки волокон с разными показателями преломления будут давать всплески на одной и спады на другой. На рис.7 показан рефлектометр: ОР2-1 производства ИИТ, Минск. Этот рефлектометр позволяет тестировать линии протяженностью до 180 км. Разрешение по затуханию сигнала 0,001дБ. Сравнение параметров этого прибора с другими рефлектометрами представлено в табл.1. Для наглядности выбраны рефлектометры для одномодовых применений на длине волны 1310 нм.

Оптический *тестер* - это без преувеличения самый широко применяемый прибор для измерения потерь в оптическом кабеле. Он применяется для тестирования компьютерных сетей: магистральных линий, разводки до рабочего места, узлов коммутации кабелей. Тестер используется для определения потерь в линиях магистральной и зонной телефонной связи, когда измерения можно проводить, подключаясь на входе и выходе линии. Основные методики измерений с помощью тестера – метод замещения (метод вносимых потерь) и метод обрыва, рассмотренные ранее. Динамический диапазон тестера составляет 60 ... 70 дБ, что достаточно для тестирования одномодовых линий протяженностью до 200 км и многомодовых до 20 км. Другими словами стандартные длины регенерационных участков полностью перекрываются этим динамическим диапазоном с достаточной точностью измерений. Разрешение по затуханию сигнала составляет обычно 0.1 или 0.01 дБ. Погрешность относительных измерений тестером вносимых потерь не превышает, как правило, 0.2 дБ.

Преимущества тестера в его малых габаритах, например, ПТ2000 имеет размер 120x60x22 мм при весе всего 250 г, автономном питании в течение 30 часов рабочего времени от одного комплекта батарей, а также сравнительно низкой стоимости. Сравнение параметров этого прибора с другими тестерами отечественного производства представлено в табл.2.

Методика измерения потерь с помощью тестера предполагает использование двух приборов – источника и приемника на разных концах линии и усреднения результатов измерений во встречных направлениях. Если линия большой протяженности, то необходимы 2 комплекта приборов, по одному с каждой стороны линии. В таких случаях бывает удобно использовать

*мультиметры* – приборы, совмещающие источник и приемник в одном корпусе. Пример мультиметра – прибор ОТ 2-2Д. Широкие возможности применения прибора обусловлены размещением в одном корпусе двух источников и одного приемника оптического излучения. Для одномодовых применений используется прибор с источниками на длинах волн 1310 и 1550 нм, для многомодовых – на



Рис.8. Оптический тестер: источник ПТ1023 и приемник ПТ2000.



Рис.9. Мультиметр ОТ-2-2Д

длинах волн 850 и 1300 нм. Особенность прибора – герметичный корпус с классом защиты IP65.



Рис.10. Измеритель оптической мощности ПТ2010

Для качественной работы WDM-систем необходимо обеспечить максимальную независимость соседних спектральных каналов. Контролю подлежат как параметры самого оптического сигнала, так и компонентов кабельной системы. В первом случае важно контролировать три параметра: длину волны канала, мощность сигнала в канале, отношение сигнал-шум. Во втором – спектральную характеристику элементов кабельной системы. Спектральные окна для WDM-систем выбраны в зонах максимальной прозрачности кварцевого волокна, где его параметры слабо зависят от длины волны. Однако другие волоконно-оптические компоненты могут или должны иметь явную спектральную чувствительность. Высокой спектральной селективностью должны обладать, например, мультиплексоры и демultipлексоры. Чем больше их селективность, тем меньше уровень перекрестных помех между соседними спектральными каналами.

Для простейшего экспресс-анализа можно использовать рабочие средства измерения типа ПТ 2010 (ПТ) и ОТ-2-2Д (ИИТ). Эти приборы позволяют проводить измерения в рабочих окнах с центральными длинами волн 850, 1310 и 1550 нм с шагом 5 нм (ПТ) и 10 нм (ОТ) в диапазонах  $\pm 50$  нм (ПТ) и  $\pm 40$  нм (ОТ).

Зачастую при ремонтно-восстановительных работах на линии необходимо быстро определить расстояние до места обрыва кабеля и возможности использования рефлектометров как довольно дорогих приборов оказываются весьма ограничены. В таких случаях обычно используются **измерители длины линии**, работающие по методу ORD. Примером такого прибора служит ВЛ-3 (ИИТ), позволяющий тестировать кабели на длинах до 80 км. Это прибор для одномодовых линий, рабочая длина волны 1550 нм. Прибор выполнен в виброударопрочном корпусе с защитой от влаги по классу IP65. Компания Wilcom (США) предложила прибор, работающий длине волны 1300 нм, как для одномодовых, так и для многомодовых применений. Однако дальность такого прибора ограничена расстоянием 20 км. Сравнение параметров приборов приведено в табл.3.

Рабочие средства измерений для возможности применения на взаимосвязанной сети России должны проходить сертификацию и последующую периодическую поверку в системе Госстандарта РФ. Для этого используются эталонные специализированные установки, так называемые рабочие эталоны первого и второго порядка. Кроме указанного основного применения – поверочных испытания рабочих средств измерений, рабочие эталоны используются также при выходном контроле параметров соединительных изделий (патчкордов, розеток и т.д.) в условиях стационарного производства. Эти установки вносятся в реестр Госстандарта индивидуально.

Таким образом, выбор приборов для волоконной оптики достаточен для решения широкого круга задач. Более того, большинство приборов допускают универсальное использование для различных применений в зависимости от методики измерений. Достоверность результатов определяется правильностью соблюдения методик измерения.

Табл.1.

Рефлектометры одномодовые с рабочей длиной волны 1310 нм

Производитель	ИИТ	ANDO	Anritsu	Exfo	Hewlett Paccard	Siemens	Wavetec
Марка прибора	OP-2-1	ANDO	MW9070	FTB300	8147	OTDRPLU S	MTS510 0
Тип модуля	OM-1.31	AQ7145	MW0972 B	7223B	E4319A	Singlemod e	5026DR
Максимальный диапазон измерений, км	180	320	н/д	160	500	н/д	200
Динамический диапазон, дБ	29	34	36	28	40	30	35
Минимальная длительность импульса, нс	30	20	20	10	30	н/д	5
Максимальная длительность импульса, мкс	10	10	10	10	20	н/д	10
Мертвая зона отражения, м	10	н/д	5	3	3	5	1
Мертвая зона затухания, м	35	65	25	15	40	15	15
Точность измерения длины L линии, м	$1.5+5*10^{-5}L$	$2*10^{-5}L$	$10^{-4}L$	$2.5*10^{-5}L$	$5*10^{-5}L$	$10^{-4}L$	$5*10^{-5}L$
Минимальный показатель преломления	1,3	1	н/д	н/д		н/д	1.3
Максимальный показатель преломления	1,7	1.9	н/д	н/д		н/д	1.7
Шаг дискретизации показателя преломления	0.00001	0.00001	н/д	н/д	н/д	н/д	0.00001
Количество точек рефлектограммы	16000	5000	н/д	32000		24000	32000
Линейность измерения затухания, дБ/дБ	0.05	н/д	0.05	0.05		н/д	0.05
Число маркеров	2	6	н/д	н/д	Auto	н/д	н/д
Минимальная рабочая температура, град. С	0	0	н/д	-5	0	н/д	н/д

Максимальная рабочая температура, град. С	40	40	н/д	40	55	н/д	н/д
Габариты, мм	290[260[65	177x284x415	290x194x75	229x305x101	218x371x305	254x254x152	300x235x90
Вес, кг	4	14	11.4	6.4	9	7	5.5

Табл.2.  
Тестеры отечественного производства

Производитель	ПТ		ИИТ			
Марка источника	ПТ1022/ПТ1023	ПТ1011/ПТ1012	ОТ-2-1 ИИ	ОТ-2-1 ИИ	ОТ-2-2Д	ОТ-2-2Д
Тип источника	SM	MM	SM	MM	SM	MM
Длина волны	1310/1550	850/1300	1310/1550	850/1300	1310/1550	850/1300
Мощность, дБм	-6	-6	-3	0	-5	-2
Стабильность, дБ/час	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
Марка приемника	ПТ2000	ПТ2010	ОТ-2-1 ИМ	ОТ-2-1 ИМ	ОТ-2-2Д	ОТ-2-2Д
Тип приемника	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs
Длина волны, нм	800...1700	800...1700	800...1700	800...1700	800...1700	800...1700
Количество длин волн калибровки	3	60	3	3	3	3
Диапазон измерения	-60...+3	-70...+10	-65...+3	-65...+3	-65...+3	-65...+3
Погрешность измерения мощности, дБ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Габариты, мм	120x65x22	120x65x22	185x95x35	185x95x35	105x220x40	105x220x40
Вес, г	250	250	300	300	700	700

Табл.3.  
Измерители расстояния до обрыва

Производитель	Wilcom	ИИТ
Марка прибора	FR2	ВЛЗ
Тип волокна	SM&MM	SM
Длина волны, нм	1310	1550
Длина кабеля минимально, м	30	40
Длина кабеля максимально, км	20	80
Точность определения длины, м	2	30

Динамический диапазон, дБ	н/д	24
Рабочая температура, минимально, град.С	-10	-10
Рабочая температура, максимально, град.С	50	50
Габаритные размеры, мм	195x100x45	220x110x35
Вес, г	440	1000

**Заключение.** С появлением систем WDM задачи измерений усложняются и к средствам и методам проведения измерительных процедур предъявляются новые требования. Тем не менее, существующие на сегодняшний день методы и средства измерения потерь в оптических волокнах вполне достаточны для решения большинства задач. Их использование позволяет с высокой точностью установить общую величину затухания сигналов, распределение потерь по длине волокна, величину влияния обратных потерь и местонахождение отдельных неоднородностей.