

КАЧЕСТВЕННАЯ СВАРКА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА: ПОЧЕМУ МЫ ТАК ГОВОРИМ

А.Микилев, к.ф.-м.н.,
директор по маркетингу российского филиала компании OFS
amikilev@ofsoptics.com

При строительстве волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) обычно возникает много вопросов, связанных с необходимостью объективной оценки качества сварных соединений оптических волокон (ОВ) и с выбором обоснованных критериев приемки смонтированной линии [1]. Для строителей неизменно актуальной остается формальная задача нормирования, приемки и "разбраковки" сварных соединений на "хорошие" и "плохие". Несмотря на сегодняшнюю "прецизионность" ОВ, совершенство используемого оборудования, мастерство монтажников, высокую степень автоматизации контрольно-измерительного оборудования, сварное соединение по-прежнему остается одним из "белых пятен" с точки зрения понимания и корректного измерения его характеристик. Попробуем в очередной раз ликвидировать этот пробел.

ПРАВА НЕ ИМЕЕМ, НО ДЕЛАЕМ

Пытаясь описать характеристики сварного соединения, мы сразу же подойдем к тому, что при измерениях на пассивной части оптоволоконной линии основным и часто практически единственным контрольно-измерительным прибором служит оптический рефлектометр (OTDR). И окажется, что проблема оценки качества сварных соединений ОВ снова и снова упирается в не совсем правильное понимание того, какие же, собственно, характеристики и результаты получают с помощью этого самого рефлектометра.

Название прибора - "рефлектометр" - уже содержит, казалось бы, вполне понятный намек на его принцип действия и назначение. Reflect означает "отражать", но и это в данном случае не совсем точно. Современные оптические рефлектометры предназначены для исследования обратно рассеянного излучения - т.е. ничтожно малой доли мощности света, рассеянной в направлении, противоположном передаваемому сигналу, т.е. в обратном. Забывая внимательно перечитать какой-нибудь старый учебник о том, как

работает оптический рефлектометр, мы как-то сразу переключаем наше сознание на привычный термин "затухание". И именно здесь желательно вспомнить, что затухание - это параметр, характеризующий падение мощности сигнала, передаваемого от передатчика к приемнику в прямом направлении. Ну а рефлектометр исследует сигнал только с обратного направления - с которого он, собственно, и подключается к исследуемой линии. То есть рефлектометр вообще не имеет прямого отношения к затуханию, так как "видит" только жалкие остатки сигнала, обратно рассеянного и возвращенного назад волокном.

Таким образом, строго говоря, мы не имеем никакого права измерять затухание оптоволоконна с помощью оптического рефлектометра вообще и определять затухание на сварном соединении - в частности. Тем не менее, мы только этим и занимаемся.

Стыки ОВ в местах сварки, особенно при соединении ОВ различных типов, существенно влияют на характер получаемых рефлектограмм. При возникновении малейших аномалий

и непривычных "событий" на анализируемой трассе специалисты, не имеющие достаточного опыта, часто приходят в замешательство о причинах этих событий и, не приложив должных умственных усилий, объясняют их как некачественное соединение.

Вопрос о наличии адекватных технических требований и обоснованных критериев приемки сварного соединения тоже никак нельзя считать решенным. Нередко заказчики предъявляют свои собственные требования к параметрам сварного соединения, а эти требования, опять же, нередко основываются на их многолетнем опыте работы с рефлектометром и, соответственно, многолетнем непонимании истинного содержания рефлектограмм. Поэтому чрезвычайно важным для каждого заказчика и исполнителя работ является четкое осознание того, на каких требованиях они все-таки будут основываться при монтаже, сдаче-приемке и эксплуатации ВОСП. И приходится повторять бесчисленное число раз: ни в коем случае не следует делать выводы о качестве сварного соединения на основании рефлектограммы только с одной стороны линии [2]!

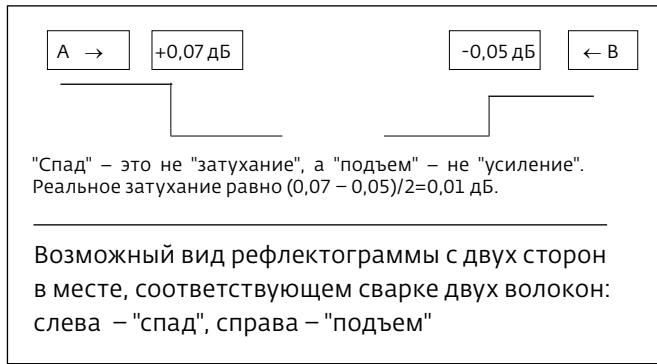
Проблема не должного понимания принципа работы и возможностей рефлектометра, помноженная на неясное представление заказчиков о "хорошем" качестве сварных соединений, в итоге превращается в стойкую головную боль – в основном для подрядчиков, вынужденных делать "то – не знаю что"...

Автоматическая сварка – стремление к нулю

Как показали многочисленные испытания, качественное, с хорошей геометрией, оптическое волокно G.652 одного производителя без каких-либо проблем и затруднений сваривается со стандартным ОВ такого же типа других производителей. Современное оборудование для сварки ОВ

(так называемый сварочный аппарат) в высокой степени автоматизировано и предполагает минимальное вмешательство оператора в собственно процесс сварки. Операции сведения торцов, их расплавление и термическое соединение, после подготовки скола и правильной установки ОВ в аппарат, выполняются автоматически, по заданной программе. После того, как выполнена собственно сварка ОВ, начинается этап контроля параметров стыка. Современные сварочные аппараты обычно автоматически контролируют механическую целостность стыка (посредством растяжения), предоставляют увеличенное изображение стыка в двух плоскостях на экране монитора при боковом освещении (при необходимости оно может быть сохранено в запоминающем устройстве), а также автоматически оценивают (прогнозируют) затухание на стыке. Таким образом, контроль качества сварного соединения начинается уже сразу же после завершения процесса сварки.

Однако значение затухания, показываемое сварочным аппаратом, – это расчетная величина, определяемая по некоему алгоритму, известному только самому аппарату и его разработчикам. И если сварочный аппарат дал оценку, скажем, 0,00 дБ, это еще не означает, что реальное затухание на данном стыке в действительности равно нулю. Это означает лишь то, что сварочный аппарат – автомат по натуре – сделал все возможное и от него зависящее, чтобы свести и сварить два волокна с минимальными потерями, и посчитал, что сварил волокно идеально. Но все же эти потери (затухание) еще надо проконтролировать каким-то другим способом. Автомат показал "нуль", или, скажем, 0,05 дБ. Насколько прогноз соответствует действительности? Проверить это можно разными способами [3], но мы снова возвращаемся к рефлектометрическому методу, с учетом популярности последнего. Не вдаваясь в подробности, можно отметить, что затухание стыка, рассчитанное



сварочным аппаратом, и затухание, измеренное впоследствии каким-либо другим методом, могут быть совершенно различными.

РЕФЛЕКТОМЕТРЫ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ: ФАТАЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ В ТЕРМИНОЛОГИИ

Раз уж приходится пользоваться рефлектометром, то при расчете реального, а не "кажущегося" затухания стыка (в дБ) должны приниматься во внимание рефлектограммы с двух сторон, а реальное затухание рассчитывается как среднее арифметическое по двум направлениям (AB и BA) [2]:

затухание стыка [дБ] = (показание AB [дБ] + показание BA [дБ]) / 2.

Например, если в направлении AB рефлектометром зафиксирован "спад" 0,07 дБ, а в направлении BA получили "подъем" -0,05 дБ, то действительное значение затухания в месте сварки здесь составит $[0,07 + (-0,05)]/2 = 0,01$ дБ (см. рисунок).

Без ссылок на многочисленную учебную и научную литературу отметим – обычно считается, что основным параметром, влияющим на величину "подъемов" и "спадов", является несоответствие диаметра модового поля (ДМП) стыкуемых ОВ. Помимо этого, безусловно, имеет значение и "конструкция" сердцевин сваренных ОВ [4]. По-видимому, даже при одинаковом ДМП свариваемых волокон разных конструкций в некоторых случаях рефлектометр покажет "ступеньки" величиной порядка 0,1 дБ – даже при идеально выполненной сварке и идеальной геометрии волокна (т.е. при отсутствии неконцентричности, некрутости сердцевин и т.п.).

В случае абсолютно качественных, однотипных ОВ одного и того же типа и изготовителя, если в процессе сварки случайно "встретились" два волокна с минимально и максимально возможным ДМП (в пределах, допускаемых спецификацией), величина спадов иногда может превысить 0,3 дБ [5]. И такого рода "события" часто ошибочно воспринимаются как "увеличенное затухание".

Однако вспомним, что рефлектометр определяет не "затухание", а лишь некие параметры обратного рассеянного излучения, достаточно косвенным образом связанные с параметрами излучения, идущего по волокну в прямом направлении. Но работая с прибором, об этом часто забываем, вглядываясь в ступеньки на рефлектограмме и считая, что эти ступеньки и есть "затухание".

Большая ошибка производителей рефлектометров состоит в том, что они изначально ввели в обиход неудачную терминологию. Ступенька "спад" рефлектограммы (на рис. слева) обычно "официально" отображается на экране прибора как loss, looser, "потери", "затухание" и прочее, а "подъем" (на рис. справа) – как gainер, "потери" со знаком минус. В дальнейшем эта фатальная некорректность уже твердо и "официально" начинает ассоциироваться с реальным затуханием на стыке (что категорически неправильно) [1]. Сварное соединение получает приговор: ступенька ("спад") начинает восприниматься как собственно "затухание". И уже почти никого не волнует тот факт, что на том же стыке на рефлектограмме с другой стороны наблюдается "подъем" (на рис. справа). Следуя такой логике, можно предположить, что волокно само по себе усиливает сигнал.

ЧТО ТАКОЕ ХОРОШО И ЧТО ТАКОЕ ПЛОХО

Итак, более-менее разобравшись со "ступеньками", следуя теории и логике, можем постулировать, что односторонние рефлектограммы дают только качественную картину характеристик трассы и не должны служить формальным основанием для претензий. Но весьма распространены упорные попытки заказчиков устроить "разборки" с подрядчиками и поставщиками, предъявляя им односторонние рефлектограммы. Некоторые заказчики "разрабатывают" и предъявляют свои собственные технические требования касательно максимально допустимой величины "событий" при контроле параметров стыка рефлектометром. Дискуссии о целесообразности и обоснованности таких требований длятся уже много лет. В любом случае, прежде чем предъявлять собственные технические требования, необходимо согласовать процедуру приемки сварных соединений с производителем (производителями) оптического волокна или производителем (поставщиком) оптического кабеля.

По нормам, достаточно хорошо признанным в России, допустимым в статистическом смысле считается, в частности, затухание стыка $\leq 0,05$ дБ

Таблица 1. Промышленно выпускаемые одномодовые ОВ производства OFS		
Тип ОВ, рекомендация ITU-T	Применение	Описание
AllWave ZWP, G.652 D	Оптические кабели магистральной, зоновой, городской, местной связи, для систем передачи SDH, DWDM, CWDM, CTV. Рабочий диапазон длин волн 1275–1625 нм	Полностью совместимо, соответствует и превосходит требования G.652 A–D. ОВ изготовлено из сверхчистого синтетического кварцевого стекла методом вертикального осевого осаждения (VAD)
AllWave FLEX ZWP, G.657A1	Оптические кабели городской, местной связи, для систем передачи SDH, DWDM, CWDM, CTV, локальных сетей, сетей доступа, FTTH. Рабочий диапазон длин волн 1275–625 нм	Совместимо, соответствует и превосходит требования G.652 A–D и G.657A1. По сравнению с G.652, у ОВ AllWave FLEX прирост затухания на изгибах меньше в 5–10 раз меньше, у AllWave FLEX+ - в 10–20 раз
AllWave FLEX + ZWP, G.657A2		
True Wave RS LWP, G.655 C, D	Оптические кабели магистральной (до 10 Гбит/с/канал), зоновой, городской связи, для систем передачи SDH, DWDM, CWDM. Рабочий диапазон длин волн DWDM – 1530–1565 нм (основной), 1565–1610 нм (дополнительный); CWDM ~ (1275–1610) нм. Оптимизировано для передачи на скорости 40–100 Гбит/с, для рамановского усиления, передачи на дальние расстояния	ОВ с положительной ненулевой дисперсией. Совместимо, соответствует и превосходит требования G.655 C, D. Может сочетаться с ОВ G.652 и с ОВ G.655 других производителей, например с ОВ типа LEAF компании Corning. Сердцевина волокна изготовлена из сверхчистого синтетического кварцевого стекла методом модифицированного химического парафазного осаждения (MCVD)
True Wave Reach LWP; G.655 C/E, G.656	Оптические кабели магистральной (10–40 Гбит/с/канал) зоновой, городской, связи, для систем DWDM, CWDM. Рекомендуются для систем передачи с эрбиевыми или рамановскими оптическими усилителями. Рабочий диапазон длин волн DWDM – 1460–1625 нм, CWDM ~ (1275–1610) нм	ОВ с положительной ненулевой средней дисперсией и расширенным диапазоном длин волн. Совместимо, соответствует и превосходит требования G.655 C, E и G.656. Может сочетаться с ОВ G.652 и с ОВ G.655 других производителей, например LEAF компании Corning. Сердцевина волокна изготовлена из сверхчистого синтетического кварцевого стекла методом MCVD

на длине волны 1550 нм для 50% некоторого объема выполненных сварок и $\leq 0,1$ дБ для 100% сварок. В отдельных случаях допускаются стыки с затуханием $\leq 0,15$ дБ. При этом важным пунктом

в соответствующем документе (Нормы приемосдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи

Таблица 2. Типичные значения затухания на сварном стыке ОВ производства OFS в различных сочетаниях, не более, дБ (проведено усреднение показаний рефлектометра по двум направлениям)

Тип ОВ	AllWave	AllWave FLEX/AllWave FLEX+	True Wave RS	TrueWave Reach
AllWave	0,03	0,05	0,10	0,10
AllWave FLEX/AllWave FLEX+		0,04	0,10	0,10
True Wave RS			0,03	0,05
TrueWave Reach				0,03

сети связи общего пользования. Утв. Приказом Госкомсвязи России от 17.12.97 № 97) является примечание, что затухание на стыке определяется как среднее арифметическое результатов измерений с двух сторон стыка оптическим рефлектометром. Это строго соответствует требованиям рекомендации ITU-T G.650.3, где также указано, что измерение потерь на стыке волокон оптическим рефлектометром должно быть выполнено с двух сторон, а за окончательный результат принимается среднее значение по двум направлениям. Например, в рассмотренном примере действительное затухание составило 0,01 дБ. И это хорошо.

Модифицируем пример. Представим, что в направлении АВ рефлектометр показал величину 0,7 дБ, в направлении ВА – 0,5 дБ. Действительное затухание в данном случае составляет $(0,7 - 0,5)/2 = 0,1$ дБ. Такое затухание вполне укладывается в российский норматив. Однако величина более 0,5 дБ в одном направлении многих уже ввергает в шок, и это не очень хорошо. А ведь с подобными вопросами операторы уже непосредственно встречаются при внедрении "гибких" волокон (G.657) и стыковки их со стандартным ОВ, при сварке волокон с ненулевой дисперсией (G.655) и т.д.

Опасаясь чрезмерно больших ступенек, в большей степени – "спадов", которые ассоциируются с реальным затуханием, заказчики правы в одном – вид рефлектограмм может быть одинаковым как при реальном затухании, так и при стыковке "разнотипных" волокон и/или большой разности ДМП однотипных волокон. И чтобы отличить хорошее от плохого, разработаны определенные рекомендации. Если сроки и бюджет выполнения работ это позволяют, оценку параметров каждого

сварного соединения рекомендуется производить на двух длинах волн – 1310 и 1550 нм. В этом случае в дальнейшем будет легче различить собственно некачественные сварные соединения от похожих по внешним признакам других дефектов монтажа, вызванных неправильной сборкой муфт, локальными механическими воздействиями на оптический кабель (например, арматурой подвески кабеля) и пр. В принципе, на практике можно ограничиться измерениями на 1550 нм, а дополнительный контроль на 1310 нм и/или на других длинах волн в дальнейшем проводить выборочно, исходя из необходимости. Следует знать, что возможный прирост затухания на участках, прилегающих к местам сварки ОВ, значительно сильнее проявляется на 1550 нм, чем на 1310 нм (сильнее всего на 1625–1650 нм). В случае же действительно плохой сварки рефлектограмма будет качественно одинаковой на обеих длинах волн.

Есть много волокон – хороших и разных

Компания OFS и другие производители выпускают различные типы ОВ. Например, типичные значения затухания на стыке ОВ различных типов компании OFS (табл.1) обычно не превышают значений, указанных в табл.2. Типичное реальное затухание (усредненное по двум направлениям при контроле затухания рефлектометром) при сварке ОВ TrueWave RS с AllWave или с подобным ему стандартным волокном обычно не превышает 0,1 дБ, но величина "спадов" при подключении рефлектометра со стороны TrueWave RS может превышать 0,5 дБ. Такая сварка не является дефектной и ее не следует переделывать. При измерении с обратной стороны рефлектометр выявит "подъем" примерно -0,4 дБ. Показания рефлектометра с обоих направлений следует занести в протокол, но за основной результат принимать затухание, усредненное по двум направлениям.

Аналогично, при правильно выполненной сварке волокон True Wave RS (компании OFS) и LEAF (компании Corning) рефлектометр может показать спад величиной до 0,9 дБ со стороны TrueWave RS и подъем -0,6 дБ со стороны LEAF. За окончательную величину затухания на стыке в данном случае следует принимать значение $(0,9 - 0,6)/2 = 0,15$ дБ. На практике реальные показания рефлектометра и расчетного затухания чаще всего будут меньше по абсолютной величине, чем в приведенном примере.

Предположив, несколько условно, что используется только качественное ОВ от лучших

производителей и нами поняты все тонкости методик измерений, для получения хороших результатов при сварке останется только иметь хороший сварочный аппарат, скальватель и т.д. Выбор конкретной модели сварочного аппарата, устройств для скальвания ОВ, рефлектометров, расходных материалов и прочего – это сегодня прерогатива конкретного заказчика или исполнителя работ. Понятно, что надежное и проверенное оборудование от ведущих мировых производителей в значительной степени гарантирует качество выполнения работ по сварке ОВ. Аппараты для сварки ОВ имеют множество вариантов программ сварки с возможностью выбора типа свариваемых волокон. К примеру, для сварки одномодовых волокон OFS рекомендуется, в первую очередь, использовать программу сварки стандартного одномодового волокна. При затруднениях с выбором программы сварки для конкретного типа ОВ и модели (модификации) конкретного сварочного аппарата проще всего проконсультироваться у изготовителя оптического волокна (кабеля) или его представителя.

В некоторых технических условиях и рекомендациях встречались указания о необходимости подбора режима сварки волокна. Однако едва ли такие "рекомендации" приведут к положительному результату. Современные аппараты для сварки ОВ представляют собой сложное устройство, не предусматривающее глубокого вмешательства в настройку управляющих программ. "Подбор режимов" может быть грамотно выполнен только в условиях лабораторий, на большом числе образцов волокна с известными характеристиками. ОВ

ведущих мировых изготовителей имеет очень жесткие допуски на геометрические характеристики, поэтому четкое выполнение последовательности операций, исправность сварочного аппарата и скальвателя, как правило, гарантируют высокое качество сварки.

Когда мы говорим, что сварка ОВ – "качественная", это не означает, что сварной стык ОВ должен быть совершенно неразличим рефлектометром. И теория, и практика, приведенные здесь и в многочисленных статьях примеры показывают, что чаще всего каждое индивидуальное сварное соединение вполне различимо, может быть достаточно точно охарактеризовано и измерено, и наконец – что очень важно – правильно классифицировано.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Микилев А.** Качество сварных соединений одномодовых ОВ: почему возникают вопросы. – Первая Миля, 2011, №4, с.40–42.
2. Рекомендация МСЭ-Т G.650.3. Ред. 2008 г. Методы испытаний проложенных участков линий из одномодовых оптических кабелей. – ITU-T, 2008.
3. **Питерских С.Э., Трешиков В.Н.** Исследование качества сварных соединений оптических волокон различного происхождения. – Электросвязь, 2004, №1.
4. **Yablon A.D.** Optical Fiber Fusion Splicing. – Springer-Verlag, 2005.
5. **Irujo T, West T.** Coming to grips with loss. – Compliments of OSP, May 2008 (www.ospmag.com)