

КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН:

почему возникают "вопросы"?

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

Тема качества сварных соединений одномодовых волокон, без всякого сомнения, была и будет оставаться актуальной долго, очень долго, если не сказать – всегда. Как для строителей и проектировщиков ВОЛС, так и для поставщиков оптического волокна и кабеля. С ней связано множество вопросов. В статье подробно рассмотрен только один – зато один из ключевых: насколько корректность проведения рефлектометрических измерений и интерпретации их результатов важны для того, чтобы сделать правильные выводы о качестве сварного соединения оптических волокон.

Почему так часто у строителей возникают претензии к "свариваемости" оптических волокон (ОВ), несмотря на то, что все ОВ и оптические кабели (ОК) проходят многостадийный контроль качества по всем важнейшим параметрам, включая геометрию, затухание и пр.? Можно ли сваривать ОВ различных типов одного изготовителя? Что при этом следует ожидать? Можно ли сваривать ОВ одного типа (стандарта), но разных изготовителей? Будет ли работать – и как – приемопередающая аппаратура, если на смонтированном участке ВОЛС наблюдаются неоднородности (события) типа "спад" или "подъем", выявленные при рефлектометрических измерениях? Существуют ли обоснованные нормы и стандарты на параметры сварных соединений (СС) при приемке какого-либо смонтированного участка оптоволоконной линии? Если да, то насколько эти нормы признаны и понятны? В рамках данной статьи подробнее остановимся лишь на вопросе касательно возможных претензий к сварным соединениям ОВ одного типа и одного изготовителя.

Качество физического СС в самом общем смысле зависит от исходных свойств свариваемых ОВ [1] и качества подготовки скола и выполнения собственно сварки [2]. Это, в свою очередь, при "проблемах со свариваемостью ОВ" ставит много вопросов к типу сварочного аппарата, его состоянию, программам сварки, квалификации персонала, условиям, в которых выполняются работы и т.д. Разумеется, помимо размышлений о во многом еще загадочных свойствах кварцевого стекла – основного материала, из которого изготовлено ОВ [1, 3].

В случае претензий к затуханию на сварках, как повелось на практике, обычно под подозрение подпадает ОВ, его геометрические параметры, диаметр модового поля и т.д. Хотя по опыту автора, в 99,9% случаев последующие "разборы полетов" показывали, что ОВ соответствует заявленным характеристикам. И это вполне понятно – иначе ОВ не прошло бы выходной контроль у изготовителя. Однако возникающие иногда у строителей претензии к качеству СС могут быть вызваны не только реально не-

довлетворительным качеством сварки, но и многочисленными другими – истинными и мнимыми – причинами. В частности – некорректными измерениями (например, неправильной работой с рефлектометром) и/или неправильной интерпретацией результатов измерений [4].

Согласно принятым Минсвязи России нормам [5], вычисленное по результатам измерений с двух направлений затухание на СС не должно превышать 0,05 дБ для 50% стыков и не более 0,1 дБ – для 100% стыков. В отдельных случаях допускается затухание до 0,15 дБ (длина волны 1550 нм). Подчеркнем – с двух направлений. К сожалению, очень часто претензии к "повышенному затуханию" СС предъявляются на основании **только** рефлектограмм **только** с одного направления. Однако и в международных рекомендациях ITU-T G.650 "Методы измерений параметров проложенных участков одномодового оптического кабеля" [6], и в ряде других подобных документов и рекомендаций четко указано, что по односторонним рефлектограммам невозможно сделать вывод об истинной величине затухания в СС.

Данное недоразумение в значительной степени усугубляется тем, что производители рефлектометров не дают разъяснений относительно того, какой физический смысл содержат введенные когда-то в доисторические времена термины типа looser или gainer ("спад" или "подъем"), отображаемые в качестве "событий" (events) при формировании отчета анализа трассы на основе полученных рефлектограмм. Поэтому "спад" интерпретируется как "затухание", что категорически неверно. Это глубоко укоренившаяся, принципиальная ошибка, которую продолжают массово тиражировать. Ошибка и в терминологии, и в понимании принципа работы оптического рефлектометра, и в интерпретации результатов (см. рисунок).

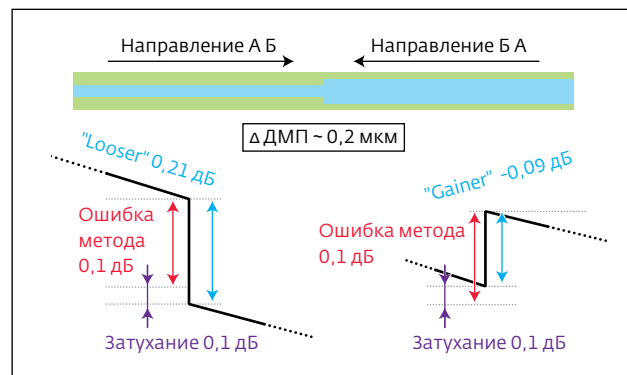
Поэтому при приемке строительно-монтажных работ и возникают разногласия относительно того, какие результаты рефлектометрических измерений – односторонние или двухсторонние – следует принимать за основу. Мы уже ответили на этот вопрос: только двухсторонние. Однако до сих пор некоторые заказчики вводят собственные нормы приемки СС типа "не более 0,15 дБ в одном направлении". По-видимому, рассчитывая, что подобные нормы будут способствовать улучшению качества сети.

Представляется, что надежная и качественная активная аппаратура должна "переваривать" на отдельном кабельном участке хотя бы 3 дБ **реального** дополнительного затухания, и что передаваемый в прямом направлении сигнал едва ли должен подвергаться какому-либо практически заметному преобразованию на участках ОВ, соответствующих прозрачным "событиям" на рефлектограмме типа "спад"/"подъем".

Понятно, что рефлектограмму проще снять с одной стороны, чем с двух. И намного быстрее. Только один раз с длительностью импульса порядка 1 мкс. Поэтому многих очень привлекает возможность измерить затухание в месте сварки только по рефлектограмме с одной стороны – по разности показаний прибора при двух положениях курсора по обе стороны от СС. Однако эта привлекательная возможность реализуется только в случае абсолютной идеальности ОВ, свойства которого прецизионно одинаковы по всей длине и, соответственно, коэффициент пропорциональности между прямым и обратно рассеянными сигналами один и тот же по всей длине ОВ. В реальном же ОВ доля отраженного сигнала

так или иначе варьируется в некоторых пределах (вообще говоря – в мало известных и недостаточно изученных), определяемых естественным технологическим разбросом свойств ОВ по длине и от образца к образцу. При стыковке двух фрагментов ОВ различных партий, типов, изготовителей и т.д. различие в уровнях обратного рассеяния стыкуемых ОВ, в совокупности с различием в конструкции ОВ (профиль показателя преломления, диаметр модового поля и т.д.), приводит к тому, что показания рефлектометра в месте СС хорошо предсказуемы далеко не всегда. Хотя в первом приближении и с хорошей для практики точностью при известных значениях диаметра модового поля стыкуемой пары ОВ показания рефлектометра в месте сварки все же можно теоретически предвидеть [7, 8].

Кроме того, нередко наблюдаемое "повышенное затухание" в местах СС может быть вызвано ошибками монтажа муфты, кросса и т.п. (зажаты волокна или модули), при прокладке или подвеске кабеля (недопустимое осевое закручивание ОК, чрезмерные изгибы, сдавливающие воздействия – например, в зажимах при монтаже арматуры подвесного ОК и пр.). Поскольку при практических работах пространственная разрешающая способность рефлектометров обычно составляет в лучшем случае 10–100 м (с целью сокращения времени измерений на пролетах 10–100 км длительность импульса редко устанавливаются менее 100 нс), то прилегающие к СС участки ОВ с повышенным затуханием, вследствие неправильного монтажа ОК и/или муфт, могут также ошибочно восприниматься лишь как увеличенное затухание на СС. В этой связи полезно отме-



В месте сварного соединения двух ОВ с некоторой разницей свойств (ДМП и пр.) рефлектометр показывает "ступеньку" – или спад (слева) или подъем (справа) в зависимости от направления подключения. Эти ступеньки представляют собой перепады уровня сигнала обратного рассеяния, которые ни в коем случае не должны интерпретироваться как "затухание". Реальное же затухание в месте стыка обычно на порядок меньше, чем величина данного перепада. Но, помимо разницы в свойствах ОВ, возможны и другие причины, приводящие к реальному затуханию и дающие точно такую же картину, как на рефлектограмме слева

тить и учесть важный технологический нюанс – в случае физического воздействия на ОВ/ОК, приведшего к реальному увеличению затухания в окрестности СС, ошибки монтажа кабеля (а не собственно "плохая сварка") значительно сильнее проявляются на длине волны 1550 нм и слабее – на 1310 нм. В случае истинных неоднородностей ОВ, в том числе при плохо выполненной сварке, "ступеньки" на рефлектограмме будут качественно одинаковыми на обеих длинах волн – 1310 и 1550 нм.

На практике все упомянутые факторы – и далеко не только они – образуют порой чрезвычайно сложную для анализа картину параметров трассы вблизи СС, с весьма схожими симптомами. И проще всего свести их первопричину к "увеличенному затуханию на сварном соединении". Но это верно далеко не всегда, и если потери в окрестности СС реально велики, то необходим тщательный поиск причины. Понятно, что такой анализ – что же вызвало "вопросы" при строительстве ВОЛС в том или ином конкретном случае – чаще всего невозможен с учетом сжатых сроков строительства. Однако другого пути нет. Только подробный "разбор полета" – т.е. последовательный и внимательный анализ, рассмотрение и последовательное исключение всех возможных факторов и причин, влияющих на качество СС и трассы в его окрестности, сможет обеспечить высокое качество монтажа ВОЛС. И повлечет если не полное отсутствие, то хотя бы значительное снижение "вопросов по сварке" в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Питерских С.Э.** Влияние технологических процессов производства на свойства оптических волокон, определяющие оптические потери в сварных соединениях. – Электросвязь, 2003, №2, с.27.
2. **Микилев А.** Качественная сварка ОВ: уравнение со многими неизвестными или тернистый путь в светлое будущее. – LightWave Russian Edition, 2007, №3, с.16–22.
3. **Леко В.К., Мазурин О.В.** Свойства кварцевого стекла. – Л.: Наука, 1985.
4. **Микилев А.И., Павлычев М.И.** "Затухание А-Б", или к вопросу об оценке качества сварки ОВ рефлектометром. – Фотон-Экспресс, 2006, № 5(53), с.30–31.
5. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования. – Госкомсвязи России, 17.12.1997.
6. ITU-T G.650.3. Test methods for installed single-mode fibre cable sections. – ITU-T, 03/2008.
7. **R.K.Boncek, J.Hartpence, Y.Qian and T.Liang.** Ensuring Low Splice Loss With High Quality Fibers. – Fitel USA Corp., OFS, 2003, www.ofsoptics.com/resources/splice.pdf.
8. **Yablou A.D.** Optical Fiber Fusion Splicing. – Springer-Verlag, 2005.