

# ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ

## В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

**И**змерения потерь проводятся для оценки качества ВОЛС. В большинстве случаев потери излучения (а не дисперсия) являются основным фактором, ограничивающим длину ретрансляционного участка линии связи.

В настоящее время разработана и широко используется измерительная аппаратура, позволяющая не только определять с высокой точностью величину полных потерь в линии (мультиметры), но и распределение потерь вдоль линии (оптические рефлектометры). Однако эти измерения, а также их интерпретация, обладают определенной спецификой, свойственной волоконно-оптической технике, и требуют специального рассмотрения.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЛИНИИ СВЯЗИ

Полные потери  $a$ , вносимые линией связи длиной  $L$ , складываются из потерь в строительных длинах ( $L_{CT}$ ) оптического кабеля  $qb L_{CT}$ , потерь в сварных соединениях волокон  $acb$  и потерь в разъёмных соединениях пигтейлов на концах линии  $ap$ .

$$a \text{ (дБ)} = qbL + (N + 1) acb + 2ap,$$

где  $qb$  – погонные потери в волокне (дБ/км),  $N = L/L_{CT}$  – число строительных длин оптических кабелей, уложенных в линию,  $N + 1$  – число сварных соединений волокон в линии (рис.1).

Наиболее высокие требования предъявляются к величине потерь в оптическом кабеле и в сварных соединениях волокон (на одну строительную длину кабеля приходится примерно одно сварное соединение). Требования к величине потерь в разъёмных соединениях менее жесткие (их надо сравнивать с полными потерями в линии). Потери, которые иногда возникают в местах изгибов волокон в пигтейлах, учитывать не будем.

Оценим величину полных потерь в ретрансляционном участке линии длиной  $L = 80$  км (типичное значение для магистральной линии без оптических усилителей). Будем исхо-

дить из того, что строительная длина оптического кабеля равна  $L_{CT} = 5$  км, а величина потерь в сварных соединениях не превышает  $acb = 0,05$  дБ (требования Ростелекома). Основные потери в линии возникают из-за потерь в волокне, их мы примем равными  $q = 0,2$  дБ/км на рабочей длине волны  $\lambda = 1550$  нм и  $q = 0,33$  дБ/км на  $\lambda = 1310$  нм (типичные значения). Потери в разъёмных соединениях примем равными среднему значению потерь в некалиброванных разъёмах ( $ap = 0,3$  дБ). Результаты оценок приведены в таблице.

При использовании высококачественного оборудования и соблюдении технологии монтажа полные потери в линии получаются близкими к их номинальному значению. Если есть уверенность, что эти условия соблюдены, то можно ограничиться только измерением полных потерь в линии с помощью мультиметра. Мультиметр значительно более простой прибор, чем рефлектометр, и измерения полных потерь в линии с его помощью требуют значительно меньше времени, чем измерения распределения потерь в линии с помощью рефлектометра. Такой подход используется для того, чтобы уменьшить время монтажа линии. Однако в тех случаях, когда нет уверенности в том, что все технологические условия соблюдены, необходимо измерять распределение потерь вдоль линии связи.

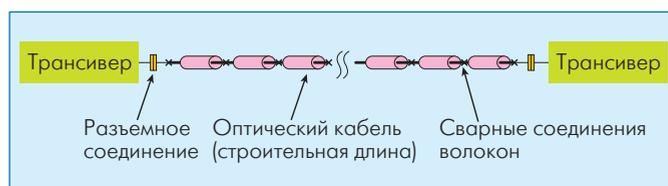


Рис. 1 Схема распределения потерь в ретрансляционном участке линии

## Распределение номинальных потерь в линии связи

Рабочая длина волны	Потери в оптическом кабеле	Потери в сварных соединениях	Потери в разъёмных соединениях	Полные потери, вносимые линией
1500 нм	$0,2 \times 80 = 16$ дБ	$0,05 \times 17 = 0,85$ дБ	$0,3 \times 2 = 0,6$ дБ	17,45 дБ
1310 нм	$0,33 \times 80 = 26,4$ дБ	$0,05 \times 17 = 0,85$ дБ	$0,3 \times 2 = 0,6$ дБ	27,85 дБ

### ПОТЕРИ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ВОЛОКОН

Сварка SM-волокон (Single Mode, одномодовое волокно) производится с помощью автоматизированных сварочных аппаратов, осуществляющих не только сварку волокон, но и оценку величины потерь в месте их соединения. Юстировка и оценка величины потерь в месте соединения волокон производятся по смещению сердцевин волокон, что позволяет создавать сварные соединения со средними потерями порядка 0,02 дБ. Эта величина сравнима с точностью измерения потерь в сварных соединениях (~0,01 дБ) как с помощью рефлектометров, так и с помощью мультиметров. То есть можно полагать, что в лабораторных условиях SM-волокна свариваются практически без потерь.

Столь малые потери в сварных соединениях SM-волокон достигаются при выполнении ряда технологических требований: прецизионной настройке режимов сварочного аппарата, использования высококачественного скалывателя (среднее значение угла скалывания торца волокна  $0,5^\circ$ ) и тщательной очистки поверхности свариваемых волокон. Однако при работе в поле не всегда удается соблюсти все эти технологические требования, что приводит к возникновению различного рода нарушений качества сварного соединения. На рис.2 приведены типичные искажения сварных соединений примерно так, как они видны на экране сварочного аппарата.

Как уже говорилось, на экран автоматизированных сварочных аппаратов выводится не только изображение волокон, но и оценка величины потерь в сварном соединении. В большинстве аппаратов она рассчитывается по величине смещения сердцевин свариваемых волокон. Однако такая оценка не учитывает (как видно из рис.2) несовершенства сварного соединения, приводящего к появлению избыточных потерь. Кроме того, так как в общем случае диаметры модовых пятен свариваемых волокон не равны друг другу, то избыточные

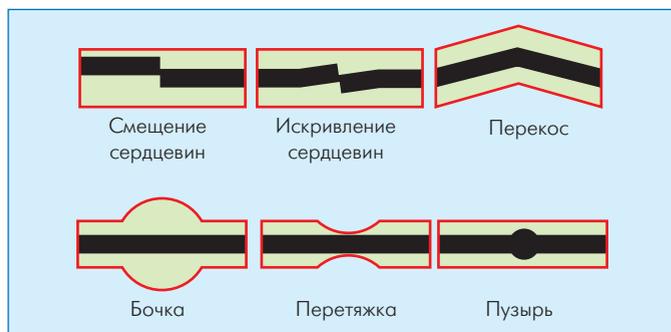


Рис.2 Примерный вид дефектов сварных соединений волокон на экране автоматизированного сварочного аппарата

ные потери возникают и при высоком качестве соединения волокон.

Избыточные потери пропорциональны квадрату относительной разности диаметров модовых пятен свариваемых волокон:  $aDw$  (дБ) =  $4,34 (Dw/w)^2$ . По международному стандарту G.652 относительные вариации диаметра модового пятна не превышают 10%. Полагая  $Dw/w = 0,1$ , получаем  $aDw = 0,043$  дБ. Хотя эта величина и меньше 0,05 дБ (требования Ростелекома), однако нет гарантии, что вариация диаметра волокна на практике не превысит 10%. Поэтому окончательный вывод о качестве сварного соединения волокон может быть сделан только после того, как будут проведены прямые измерения потерь в этом соединении.

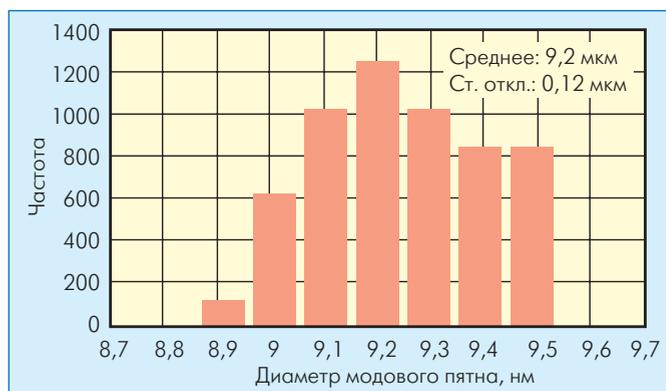


Рис.3 Гистограмма распределения диаметра модовых пятен в SM-волоках на длине волны 1310 нм (компания Hitachi)

Наименьших потерь в сварных соединениях волокон удастся добиться при юстировке по сердцевине волокон с коррекцией эксцентриситета. В этом случае потери возникают в основном из-за неравенства диаметров модовых пятен свариваемых волокон. Допуск на диаметр модовых пятен у большинства ведущих компаний-производителей на  $\lambda = 1310$  нм составляет  $\pm 0,5$  мкм. Соответственно, в самом худшем случае диаметры модовых пятен свариваемых волокон могут различаться на 1 мкм. Потери при этом составят 0,04 дБ. Компании Corning и Hitachi уменьшили этот допуск до  $\pm 0,4$  мкм и, соответственно, снизили эти потери до 0,025 дБ.

Допуск на диаметр модовых пятен  $\pm 0,5$  мкм соответствует международному стандарту ITU-T G. 652, согласно которому он не должен превышать 10%. Это означает, что максимальная разница диаметров модовых пятен у волокон разных производителей не превышает 10% и, соответственно, возникающие из-за этого потери не превышают 0,04 дБ.



Однако в оптический кабель, как правило, укладываются волокна какой-то одной производящей компании. При соединении строительных длин таких кабелей максимальная разница диаметров модовых пятен получается значительно меньше. Так, например, для волокон компании Hitachi относительная флуктуация диаметра модовых пятен составляет величину всего лишь порядка 1% (рис.3), а возникающие из-за этого потери не превышают 0,004 дБ.

На практике средняя величина потерь при сварке волокон одной производящей компании меньше 0,05 дБ и определяется совокупностью факторов, таких, как плохой скол, грязь на торцевой или боковой поверхностях волокон, эллиптичность и флуктуации диаметра оболочки, погрешности в настройке режима сварочного аппарата и т.д. ○