

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНИТЕЛИ ДЛЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Григорьев В.А., канд. техн. наук, начальник отдела  
ЗАО «Московский научно-исследовательский  
телевизионный институт»

При исследовании локальной линии связи длиной 10 км возникла необходимость многократных оперативных соединений отрезков волоконных световодов с нестандартными размерами сердцевин и оболочки 8/135 мкм длиной по 2 км с обеспечением уровня вносимых потерь соединения – 0,4 дБ и возвратными потерями в соединении не менее 70 дБ.

Для быстрых неоднократных стыковок с несколькими повторными соединениями одномодовых волоконных световодов стандартных геометрических размеров используются механические соединители [1, 2]. В рассматриваемом случае применение известных механических соединителей исключалось в виду необходимости соединять волоконные световоды нестандартных размеров.

Целью работы является описание построения механического соединителя для стыковки нестандартных волоконных световодов. Изложен математический аппарат для расчета параметров механического соединителя, его конструкция и технология изготовления.

Сложность создания такого соединителя видна из рассмотрения оптической схемы соединителя и ее математической модели. В реальности смещение торцов световодов происходит в трехмерном пространстве и его оценивают по трем координатам. Однако в нашем случае для оценки смещения волоконных световодов выбрана двумерная система координат и рассогласования волоконных световодов рассматриваются в одной плоскости. Это сделано потому, что волоконные световоды соединяются в капиллярном отверстии, диаметр которого совпадает с внешним диаметром волоконного световода. Наибольшее поперечное смещение световодов в этом отверстии соответствует на схеме оси ординат.

В оптической схеме соединителя рассматривается распространение излучения между двумя одномодовыми волоконными световодами с одинаковыми геометрическими и оптическими параметрами. Волокна в данной схеме расположены с продольным смещением  $z$ , поперечным смещением  $x$  и угловым рассогласованием  $\varphi$  (рис. 1).

Получим обобщенную математическую модель этой оптической схемы.

Математическая модель призвана решить задачу определения допусков на рассогласование соединяемых световодов по заданной величине вносимых потерь.

Основой для вывода математической модели является теория оптических волноводов. Согласно этой теории и методу, изложенному в [3], математическим отображением данной оптической схемы является выражение:

$$P_n = P_u \left[ \exp \left( - \left( \left( \frac{x}{\omega} \right)^2 + \left( \frac{\pi \cdot n_2 \cdot \omega \cdot \varphi}{\lambda} \right)^2 \right) \right) \cdot \frac{4(4z^2 + 1)}{(4z^2 + 2)^2 + 4z^2} \right]. \quad (1)$$

Для построения этого математического выражения использованы формулы, отражающие закономерности рассогласований

– при продольном смещении  $z$  торцов световодов [4]:

$$K_1 = \frac{4(4z^2 + 1)}{(4z^2 + 2)^2 + 4z^2}, \quad (2)$$

– поперечном смещении  $x$  осей световодов [4]:

$$K_2 = \exp \left( - \left( \frac{x}{\omega} \right)^2 \right), \quad (3)$$

– и угловым рассогласованием  $\varphi$  продольных осей световодов [5]:

$$K_3 = \exp \left( - \left( \frac{\pi \cdot n_2 \cdot \omega \cdot \varphi}{\lambda} \right)^2 \right), \quad (4)$$

где  $z = z / n_2 k \omega^2$  [4]  $k = 2\pi / \lambda$ ;  $P_u$  – мощность на торце передающего световода;  $P_n$  – мощность на торце прием-

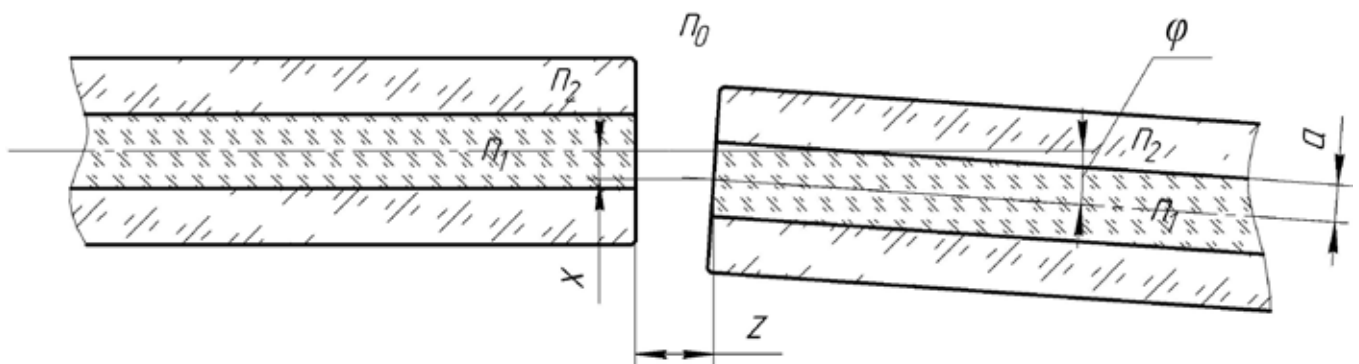
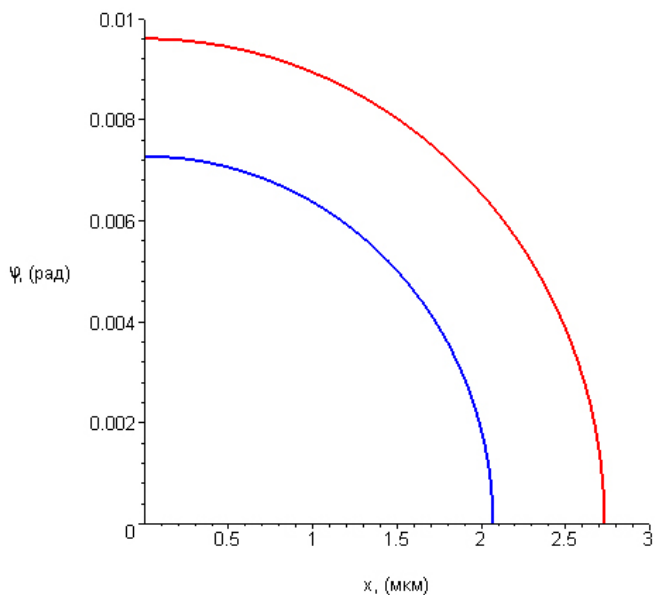


Рис. 1. Оптическая схема соединения волоконных световодов

ного световода;  $z$  – расстояние между торцами стыкуемых световодов;  $x$  – смещение между осями световодов;  $\varphi$  – угол рассогласования между осями световодов;  $\omega$  – эффективный радиус моды световода;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $n_0$  – показатель преломления окружающей среды;  $n_1$  – показатель преломления сердцевинки световода;  $n_2$  – показатель преломления оболочки световода;  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты передачи при соответствующем виде рассогласования.

Графическое отображение зависимости (1) представлено на рис. 2. для  $z = 0$  мкм (линия красного цвета) и для  $z = 0,2$  мкм (линия синего цвета) при вносимых оптических потерях в соединении световодов 0,4 дБ и длине волны излучения  $\lambda = 1,3$  мкм.



**Рис. 2.** Графики зависимостей поперечного смещения  $x$  осей световодов от углового рассогласования  $\varphi$  при расстоянии между их торцами  $z = 0$  мкм (красная линия) и  $z = 0,2$  мкм (синяя линия) для обеспечения уровня оптических потерь в соединении световодов 0,4 дБ. Радиус сердцевинки световода – 4 мкм

Приведенные графики наглядно показывают, что для обеспечения в соединении световодов с диаметром сердечника 8 мкм оптических потерь на уровне 0,4 дБ необходимо обеспечить оптический контакт световодов при поперечном смещении их оптических осей на величину не более 2,45 мкм и угловом рассогласовании 0,5°. С увеличением расстояния между торцами световодов, например до  $z = 0,2$  мкм, требования на допуски по рассогласованию становятся еще более жесткими: поперечное смещение их оптических осей необходимо выдержать в пределах 2,1 мкм при угле рассогласования не более 0,41°.

Решение столь сложной задачи по выполнению весьма жестких требований по рассогласованию соединяемых волоконных световодов потребовало выявления нетрадиционных способов изготовления оптического механического соединителя и технологии его реализации.

Такой способ и технология были разработаны и применены при практической реализации механических соединителей.

Принципиальное отличие предложенного способа изготовления механического соединителя состоит в том, что изготовление капиллярных отверстий в соединительной втулке осуществляют не с торцов, а со стороны боковой поверхности втулки. Для рациональной технической реализации способа предложена электроэрозионная технология обработки материалов [6, 7].

Принцип изготовления капиллярных отверстий в соединительной втулке со стороны ее боковой поверхности электроискровой технологией состоит в формировании вдоль продольной оси втулки прямого направляющего канала с параметрами капиллярного отверстия с целью исключения при стыковке световодов рассогласований по продольному смещению  $z$ , по поперечному смещению  $x$  и по угловому рассогласованию  $\varphi$  осей волоконных световодов.

Практическое воплощение этот принцип получил в простой конструкции соединителя. Конструктивно предлагаемый механический соединитель представляет собой единую законченную сборочную единицу, отличающуюся симметрией исполнения и относительной простотой. Основными узлами конструкции являются направляющий канал для двух оптических волокон и устройство фиксации волокон. В соединителе для фиксации соединения волокон используется цанговый зажим, чем обеспечивается защита от случайных механических воздействий; и небольшое усилие, приложенное к световоду, не приводит к разрыву оптического контакта в соединении. Преимуществом соединителя является легкость и быстрота выполняемых соединений.

Соединение световодов происходит в капиллярном отверстии, диаметр которого с высокой точностью (доли микрон) совпадает с внешним диаметром волоконного световода. Поэтому вносимые потери от поперечного рассогласования определяются только эксцентриситетом световодов. Вносимые потери от углового рассогласования практически отсутствуют поскольку стыковка световодов осуществляется по единой направляющей в виде прямого капиллярного отверстия. Расстояние между торцами  $z$  удовлетворяет условиям оптического контакта. Две поверхности считаются находящимися в оптическом контакте, если расстояние между ними много меньше длины волны света. При этом, чем меньше расстояние между этими поверхностями, тем меньше будет и величина отраженного от них света. Качество оптического контакта определяется качеством торцевой поверхности волоконных световодов. Для получения качественного скола торцевой поверхности световодов использовался скалыватель компании Sumitomo – FCP-22. Достоинством, определившим выбор этого скалывателя, явилась возможность его использования для световодов различных внешних диаметров. В этой конструкции коэффициент отражения в соединенном состоянии имеет значение от –70 до –74 дБ.

Способ изготовления механического соединителя осуществляют по технологии электроэрозионной обработки материалов.

В соединительной втулке 9 (рис. 3) с двух сторон изготавливают глухие центральные цилиндрические отверстия 2 и 2' с заходными конусами 4 и 4' с обеспечением соосности (0,02–0,03 мм) расположения относительно наружной поверхности втулки 9; на концах втулки 9 изготавливают цанговые зажимы 8 и 8' с микрометрической резьбой 27 и 27'. В перерегодке 28 соединительной втулки 9, расположенной между глухими цилиндрическими отверстиями 2 и 2', изготавливают на электроэрозионном копировально-

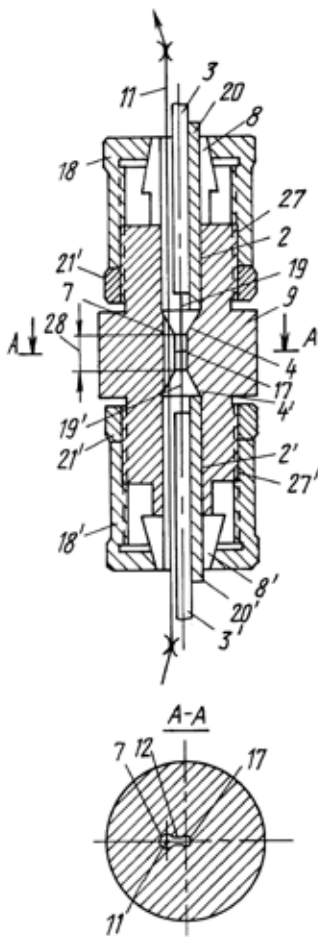


Рис. 3. Схема реализации способа изготовления механического соединителя

прошивочном станке технологическое отверстие 7 диаметром 0,6–0,7 мм вблизи цилиндрических поверхностей отверстий 2 и 2'. Затем соединительную втулку 9 устанавливают на электроэрозионном вырезном станке так, чтобы технологическое отверстие 7 и центр втулки 9 совпали с направлением координатного перемещения рабочего стола станка. Электрод-проволоку 11 выверяют относительно базовой внешней поверхности соединительной втулки 9 и находят ее центр. После этого электрод-проволоку 11 протаскивают сквозь технологическое отверстие 7, включают рабочий режим электроэрозионного вырезного станка и в соответствии с программой, введенной в вычислительное устройство, изготавливают в направлении к центру вначале паз 12 и затем в центре соединительной втулки примыкающее к ней капиллярное отверстие 17 с размером, большим ширины щели 12. В цилиндрические отверстия 2 и 2' вставляют разрезные втулки 20 и 20', изготовленные из пластичного материала, и, таким образом, закрывают технологическое отверстие 7. Оптические волокна 3 и 3' вставляют с двух сторон в разрезные втулки 20 и 20' до момента соприкосновения торцов световодов 19 и 19' в середине соединительной втулки 9. Цанговыми зажимами 8 и 8' с помощью гаек 18 и 18' через разрезные втулки 20 и 20' зажимают оптические волокна 3 и 3' гайками 21 и 21' и стопорят гайки 18 и 18'.

В качестве материала для втулки и наконечников используют нержавеющую сталь 40Х13. Перед притиркой наконечники подвергают закалке до твердости 42...45 HRC.

Предложенным способом можно изготовить капиллярные отверстия с размерами, равными номинальным значениям волоконных световодов. Это достигается следующим образом. Рабочая управляющая программа станка проверяется на макетной заготовке, изготовленной из аналогичного втулке материала. Если после измерений оказалось, что размер отверстия не вписывается в поле допуска, то программу корректируют на необходимую величину. Если после повторного изготовления отверстия его размер вновь вышел за пределы поля допуска, то производят некоторое изменение (на 30–50 В) величины импульсного напряжения на электродах электроэрозионного станка и/или скорости

разрезания. Как правило, за 2–3 таких приема достигается желаемый результат.

Номинальный размер изготовленного капиллярного отверстия ограничен размером применяемой проволоки. Наименьший размер капиллярного отверстия, который может быть изготовлен предложенным способом, равен 10 мкм при использовании электрода-проволоки диаметром 6 мкм.

Соединитель обеспечил многократные повторные стыковки световодов при настройке локальной системы связи при нормальных условиях эксплуатации. Экспериментально установлено, что вносимые оптические потери при 12 согласованиях световодов в одном соединении не превышали величину в 0,4 дБ при возвратных потерях 72 дБ. Соединитель имеет диаметр 4 мм, длину 32 мм и массу 11 г.

Соединитель по стоимости и техническим характеристикам сопоставим с механическими соединителями типа сплайсов: Ultra Splice производства компании ACA, Corelink производства AMP, механическими соединителями производства Fujikura.

### Выводы

1. Предложен метод расчета допусков на рассогласование соединяемых волоконных световодов по заданной величине вносимых потерь, и на его основе создан простой в конструкции, изготовлении и надежный в эксплуатации механический соединитель.

2. Для рациональной технической реализации устройств согласования волоконных световодов разработан принцип построения, согласно которому капиллярное отверстие в оптическом соединителе выполняется со стороны его боковой поверхности, при этом поперечное смещение относительного расположения волоконных световодов практически равно нулю, угловое рассогласование отсутствует полностью, что в совокупности обуславливает низкий уровень вносимых оптических потерь соединителя.

3. Предложенный принцип построения соединителей практически реализован технологией электроэрозионной обработки материалов, позволяющей изготавливать соединители для нестандартных волоконных световодов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ларин Ю.Т. Оптические кабели связи. Неразъемные соединения. Ч. 1. М.: Информэлектро. 1991.
2. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. – 2-е изд., перераб. и доп. Под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М.: АО «ВОТ», 2005. – 576 с.
3. Григорьев В.А. Вращающийся соединитель для волоконных световодов // Кабели и провода. – 2010. – № 6.
4. Marcuse D. Loss Analysis of Single-Mode Fiber Splices. The Bell System Technical Journal, may-june 1977, 713 p.
5. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П., Пал Б.П. Волоконная оптика и приборостроение. / Под общ. ред. Бутусова М.М. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987.
6. Кравченко В.Л. Электроискровое изготовление особо прецизионных пазов в мелкоструктурных деталях электронных приборов // В кн.: Электроискровая обработка металлов. – М.: АН СССР, 1969. – С. 14.
7. Григорьев В.А., Кравченко В.А. Способ изготовления волоконно-оптического соединителя» (вариант 5) // Патент РФ № 2152061, 23.12.1996. Оpubл. 27.06.2000. Бюл. № 18.