

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

**Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)**

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

**ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль
"Оптические системы и сети связи"

2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

**Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)**

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ Шарангович С.Н.
“ _____ ” _____ 2014г.

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

**ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль "Оптические
системы и сети связи"

Разработчики:

доцент кафедры СВЧиКР
_____ Г.Г. Куш

проф.кафедры СВЧиКР
_____ А.Е. Мандель

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Типы оптических волокон	4
3. Способы соединения оптических волокон	9
4. Способы измерения потерь в оптических волокнах	19
5. Экспериментальная часть	23
7. Содержание отчёта.....	29
8. Контрольные вопросы.....	29
9. Список литературы.....	29

Цель работы

Изучение способов соединения волокон и определение вносимых потерь зависящих от типов и качества соединений. Получение первичных навыков сварки световодов электрической дугой сварочным аппаратом КСС-111. Ознакомление с типами оптических волокон и основными способами измерения оптических потерь.

1. Введение

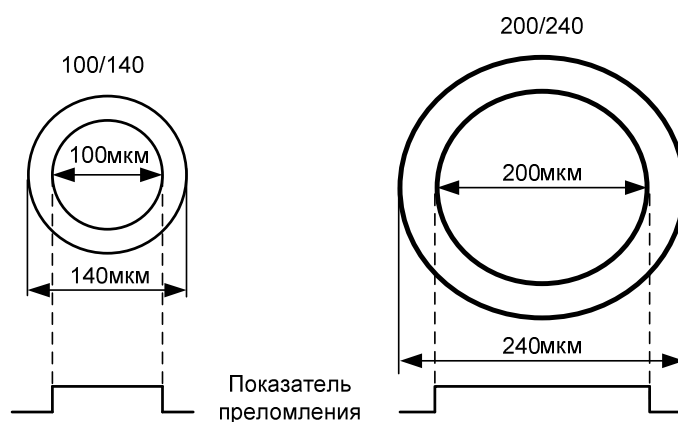
Современная эпоха характеризуется стремительным процессом информатизации общества. Это сильнее всего проявляется в росте пропускной способности и гибкости информационных сетей. Постоянно растущий объём передаваемой информации на уровне сетевых магистралей можно обеспечить, привлекая оптическое волокно. Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Сегодня волоконная оптика находит применение практически во всех задачах, связанных с передачей информации.

По мере роста сложности и увеличения протяжённости волокно - оптической кабельной системы возросла роль обеспечения надёжного соединения оптических волокон. Как правило, пользователей ВОЛС интересуют общие потери линии передач, либо потери на каком-то из ее промежутков (например, в месте сварного или разъёмного соединения), поэтому большинство методов измерения потерь позволяют определить суммарные потери.

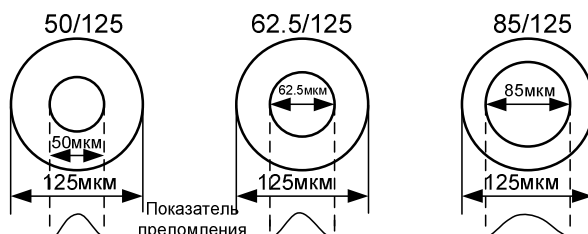
Данная лабораторная работа посвящена изучению способов соединения волокон и определение вносимых потерь зависящих от типов и качества соединений.

2. Типы оптических волокон

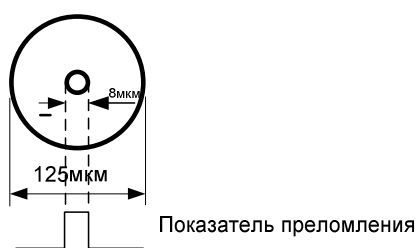
Все оптические волокна делятся на две основные группы: многомодовые MMF (multi mode fiber) и одномодовые SMF (single mode fiber). Многомодовые волокна подразделяются на ступенчатые (step index multi mode fiber) и градиентные (graded index multi mode fiber). Одномодовые волокна подразделяются на ступенчатые одномодовые волокна (step index single mode fiber) или стандартные волокна SF (standard fiber), на волокна со смещенной дисперсией DSF (dispersion-shifted single mode fiber), и на волокна с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (non-zero dispersion-shifted single mode fiber). Типы и размеры волокон приведены на рис. 2.1.



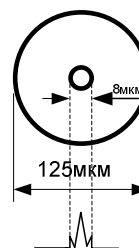
а) Ступенчатое многомодовое волокно



б) Градиентное многомодовое волокно



в) Ступенчатое одномодовое волокно



г) Одномодовое волокно со смещенной дисперсией

Рис.2.1. Типы и размеры оптических волокон: многомодовое ступенчатое волокно 100/140 (рис. 2.1. а); многомодовое градиентное волокно 62,5/125 (рис. 2.1.б); одномодовое ступенчатое волокно SF (волокно с несмещенной дисперсией или стандартное волокно) 8-10/125 (рис. 2.1. в); одномодовое волокно со смещенной дисперсией DSF 8-10/125 (рис. 2.1.

г); одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF

В одномодовом волокне диаметр светонесущей жилы составляет 8 –10 мкм и сравним с длиной световой волны. В таком волокне при достаточно большой длине волны света $\lambda > \lambda_{CF}$ (λ_{CF} -длина волны отсечки) распространяется только одна мода. Одномодовый режим в волокне реализуется в окнах прозрачности 1310 и 1550 нм. Распространение только одной моды устраняет межмодовую дисперсию и обеспечивает очень высокую пропускную способность одномодового волокна в этих окнах прозрачности. Наилучший режим распространения с точки зрения дисперсии достигается в окрестностях длины волны 1310 нм. С точки зрения потерь это не самое лучшее окно прозрачности. В этом окне потери составляют 0,3 – 0,4 дБ/км, в то время как наименьшее затухание 0,2 – 0,25 дБ/км достигается в окне 1550 нм.

2.2. Распространения света по волокну

Основными факторами, влияющими на характер распространения света в волокне, наряду с длиной волны излучения, являются: геометрические параметры волокна; затухание; дисперсия.

Геометрические параметры волокна

Волокно состоит из сердцевины и оболочки. Оболочка окружает оптически более плотную сердцевину, являющуюся светонесущей частью волокна.

Обозначим показатели преломления сердцевины и оболочки через n_1 и n_2 , соответственно. В соответствии с законом Снеллиуса

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (2.1.)$$

где n_1 -показатель преломления среды 1; n_2 -показатель преломления среды 2; θ_1 - угол падения; θ_2 -угол преломления.

На рис.2.2. показан ход лучей в волокне. Так как сердцевина является оптически более плотной средой по отношению к оболочке ($n_1 > n_2$), то существует критический угол падения θ_c - внутренний угол падения на границу, при котором преломленный луч распространяется вдоль границы сред ($\theta_2 = 90^\circ$). Из закона Снеллиуса легко найти этот критический угол падения:

$$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1).$$

Если угол падения на границу раздела меньше критического угла падения (луч 2, рис.2.2), то при каждом внутреннем отражении часть энергии рассеивается наружу в виде преломленного луча, что приводит в конечном итоге к затуханию света. Если же угол падения больше критического угла (луч 1, рис.2.2), то при каждом отражении от границы вся энергия возвращается обратно в сердцевину благодаря полному внутреннему отражению. Лучи, траектории которых полностью лежат в оптически более плотной среде называются направляемыми. Поскольку энергия в направляемых лучах не рассеивается наружу, такие лучи могут распространяться на большие расстояния.

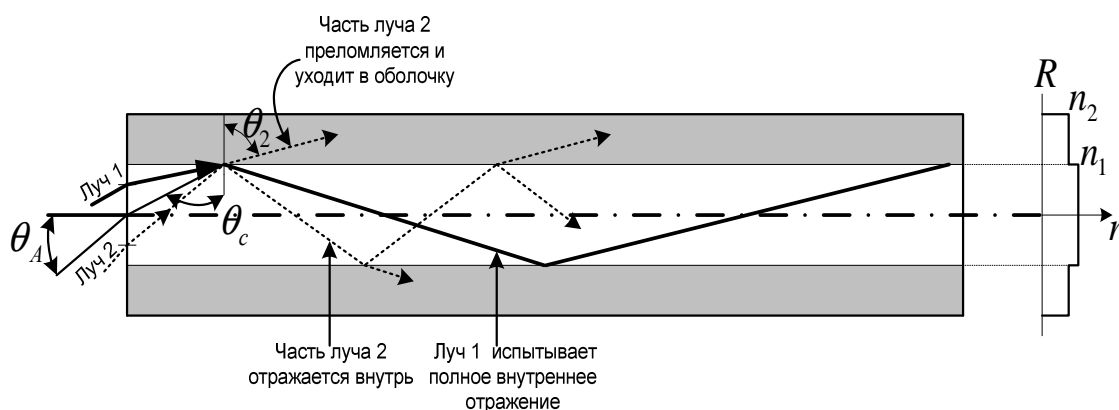


Рис. 2.2. Ход лучей в многомодовом оптическом волокне со ступенчатым профилем

Числовая апертура.

Важным параметром, характеризующим волокно, является числовая апертура NA. Она связана с максимальным углом θ_A вводимого в волокно излучения из свободного пространства, при котором свет испытывает полное внутреннее отражение формулой

$$NA = \sin \theta_A = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} . \quad (2.2.)$$

Фирмы – изготовители волокна экспериментально измеряют угол θ_A и указывают соответствующее значение числовой апертуры для каждого поставляемого типа волокна.

Затухание

На затухание света в волокне влияют такие факторы, как: потери на поглощении; потери на рассеянии; кабельные потери.

Потери на поглощении и на рассеянии вместе называют собственными потерями, в то время как кабельные потери в силу их природы называют так же дополнительными потерями Полное затухание в волокне (измеряются в дБ/км) определяются в виде суммы

$$a = a_{abs} + a_{sct} + a_{rad} , \quad (2.3)$$

где a_{abs} - потери на поглощении;

a_{sct} - потери на рассеянии;

a_{rad} -кабельные потери.

Потери на поглощении a_{abs} состоят как из собственных потерь в кварцевом стекле (ультрафиолетовое и инфракрасное поглощение) так и потерь, связанных с поглощением света в примесях.

Потери на рассеянии a_{sct} вызваны наличием неоднородностей микроскопического масштаба и наличие примесей в волокне. Свет, попадая на такие неоднородности, рассеивается в разных направлениях. В результате часть его теряется в оболочке. Эти неоднородности неизбежно появляются во время изготовления волокна.

Кабельные потери a_{rad} обусловленные скруткой, деформациями и изгибами волокон, возникающими при наложении покрытий и защитных оболочек При соблюдении технических условий на прокладку кабеля номинальный вклад со стороны кабельных потерь составляет не более 20% от полного затухания. Дополнительные радиационные потери появляются, если

радиус изгиба кабеля становится меньше минимального радиуса изгиба, указанного в спецификации на волоконно-оптический кабель.

Дисперсия.

Наличие дисперсии любого вида ухудшает амплитудно-фазовые характеристики световых сигналов и снижает объем передаваемой информации либо за счет увеличения длительности импульсов в цифровых системах, либо за счет увеличения искажений сигналов в аналоговых системах.

Дисперсия обусловлена тремя основными факторами:

- различием скорости распространения направляемых мод (межмодовая дисперсия),
- направляющими свойствами световодной структуры (волноводная дисперсия),
- свойствами материала оптического волокна (материальная дисперсия).
-

3. Способы соединения оптических волокон

Самым важным вопросом передачи информации является обеспечение надежного соединения оптических волокон. Различают неразъемные и разъемные соединители. Неразъемные соединители используются в местах постоянного монтажа кабельных систем. Разъемные соединители допускают многократные соединения/разъединения. Основным методом монтажа, обеспечивающим неразъемное соединение, является сварка.

3.1. Разъемные соединители

По конструкции соединения бывают симметричными и несимметричными. Упрощенные схемы соединений показаны на рис.3.1. При несимметричной конструкции для организации соединения требуется два элемента: соединитель гнездовой и соединитель штекерный, рис.3.1а. Оптическое волокно в капиллярной трубке коннектора – штекера не доходит до торца капилляра, а остается в глубине. Напротив, волокно в гнездовом соединителе выступает наружу. При организации соединения физический

контакт волокон происходит внутри наконечника капилляра, который обеспечивает соосность волокон. Открытое волокно, и капиллярная полость у этих соединителей являются основными недостатком, снижающими надежность несимметричной конструкции. особенно недостатки сказываются при большом количестве переподключений. Поэтому такой тип конструкции получил меньшее распространение.

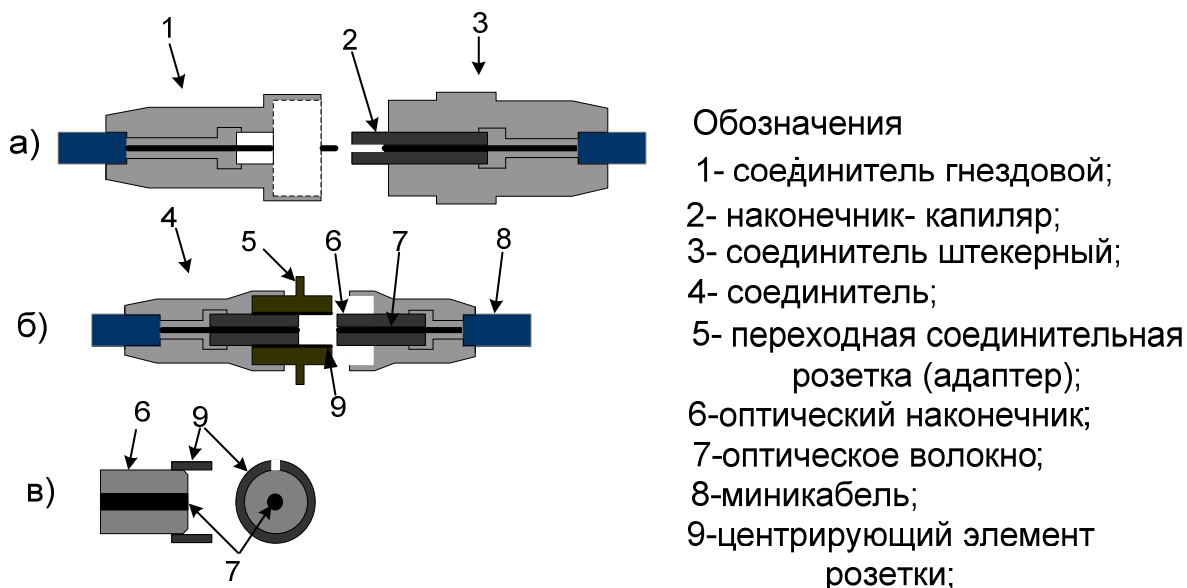


Рис.3.1. Конструкции соединителей: а) несимметричная; б) симметричная; в) наконечник и центратор розетки симметричного соединителя

При симметричной конструкции для организации соединения требуется три элемента: два соединителя и переходная розетка, (рис. 3.1б). Главным элементом соединителя является наконечник. Переходная розетка снабжается центрирующим элементом, выполненным в виде трубки с продольным разрезом - должен быть контакт между наконечником и центрирующим элементом розетки, (рис. 3.1в). Центрирующий элемент плотно охватывает наконечники и обеспечивает их строгую соосность. Внешний диаметр наконечника равен 2,5 мм. Наиболее жесткие требования предъявляются к параметрам отверстия (капилляра) наконечника. Оно должно быть достаточно большим, чтобы волокно могло зайти в него, и при этом достаточно малым, чтобы люфт в волокне был незначительным.

К соединителям предъявляются следующие основные требования: малые вносимые потери, малое обратное отражение, устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям, высокая надежность и простота конструкции, незначительное ухудшение характеристик после многократных повторных соединений.

3.2.Вносимые потери

Вносимые потери зависят от типа волокон (многомодовое или одномодовое), типов и качества соединителей и составляют от 0,3 до 0,5 децибела. Вносимые потери можно определить по формуле

$$a = -10 \lg D = -10 \lg P_{\text{out}} / P_{\text{in}} \text{ [дБ]}, \quad (3.1)$$

где D - коэффициент передачи оптической мощности; P_{in} - интенсивности излучения на входе соединения; P_{out} -интенсивности излучения на выходе соединения.

Вносимые потери можно разбить на две категории: внутренние и внешние. Внутренние потери определяются факторами, которые невозможно контролировать (достичь их улучшения при вставке волокна в соединитель), а именно парной вариацией диаметров сердцевин, показателей преломления, числовых апертур, эксцентриситетов сердцевина/оболочка и концентричностей сердцевины у волокон с разных сторон. Можно ожидать случайное изменение этих факторов даже в том случае, когда волокна одинакового стандарта или взяты с одной и той же катушки. Эти факторы проявляются меньше на непрерывном сегменте оптического кабеля, так как они плавно меняются с длиной. На внутренние потери влияет технология производства волокна и соответствующие критерии контроля качества. Зная разброс значений перечисленных выше параметров, можно определить максимальное значение внутренних потерь.

Потери из-за вариации показателей преломления являются следствием френелевского рассеяния. Эти потери исчезают только при равенстве показателей преломления.

Потери при вариации апертур возникают в том случае, если апертура волокна, передающего сигнал NA_1 больше апертуры волокна, принимающего сигнал NA_2 , и определяются как

$$a_{NA} = -10\lg(NA_2/NA_1) \text{ [дБ]}. \quad (3.2)$$

При $NA_1 < NA_2$ апертурные потери не возникают

Потери при вариации диаметров возникают, когда диаметр передающего волокна меньше диаметра принимающего, и определяются соотношением

$$a_D = -10\lg\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \text{ дБ}, \quad (3.4)$$

где D_1 и D_2 диаметры передающего и принимаемого волокон.

Когда D_2 больше D_1 , потери не возникают.

Внешние потери - это потери, которые являются следствием несовершенства как самой конструкции соединителя, так и процесса сборки оптического шнура. Внешние потери зависят от таких факторов как: механическая нестыковка (угловое смещение θ , радиальное смещение L , осевое смещение S); шероховатости на торце сердцевины; загрязнение участка между торцами волокон, рис. 3.2.

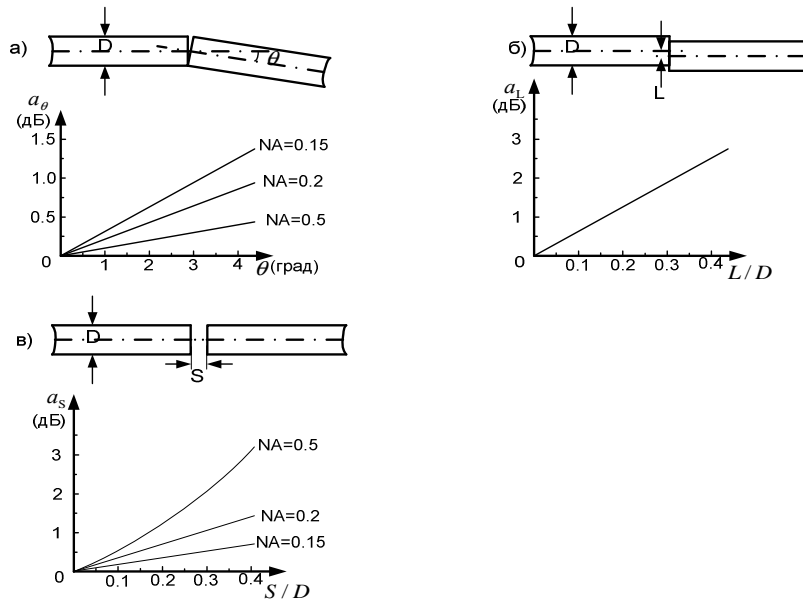


Рис.3.2. Три главных вида внешних потерь в соединителе: а) потери при угловом смещении; б) потери при радиальном смещении; в) потери при осевом смещении.

Потери при угловом θ смещении (рис.3.2а) определяются формулой

$$a_{\theta} = -10 \lg \left(1 - \frac{2}{\pi} \frac{\theta}{\arcsin NA} \right) \text{ [дБ]}, \quad (3.5)$$

где NA – апертура волокна.

Потери при радиальном смещении (рис.3.2б) определяются формулой

$$a_L = -10 \lg \left(1 - \frac{4}{\pi} \frac{L}{D} \right) \text{ [дБ]}, \quad (3.6)$$

где D – диаметр светонесущей части волокна,

L – радиальное смещение.

Потери при осевом смещении (рис.3.2в) определяются формулой

$$a_S = -10 \lg \left[1 / \left(1 + 2(S/D) \operatorname{tg} [\arcsin(NA/n_0)] \right) \right]^2 \text{ [дБ]}, \quad (3.7)$$

где S – осевое смещение;

n_0 – показатель преломления среды, заполняющей пространство стыка.

Некачественная полировка торцов волокон, а также трение, возникающее при многократном переключении соединителей (имеющих физический контакт), может привести еще к одному типу потерь – потерь, связанных с рассеянием на микротрещинах. При появлении зазора между волокнами появляется и френелевское отражение из-за того, что среда, заполняющая

пространства между открытыми плоскостями торцов волокон имеет отличный от волокон показатель преломления.

3.3. Сварное соединение

Сварка оптических волокон основана на их точном центрировании, после чего волокна свариваются друг с другом при помощи дугового разряда между электродами. В современных аппаратах для сварки центрирование волокон представляет из себя либо автоматическое центрирование, либо центрирование V-образном пазу. Наиболее распространенный метод автоматического центрирования основан на так называемой системе PAS, когда мест сращивания волокон освещается сбоку при помощи зеркал с двух сторон. При этом, на экране находящемся на противоположной стороне от места сращивания камеры, появляется изображение, определяемая профилем преломления оптического волокна, по которому прибор может установить положение сердцевины волокна. Более простой в использовании метод центрирования в V-образном пазу требует высокого качества биометрии волокна для обеспечения приемлемых характеристик сварного соединения (рис. 3.3).

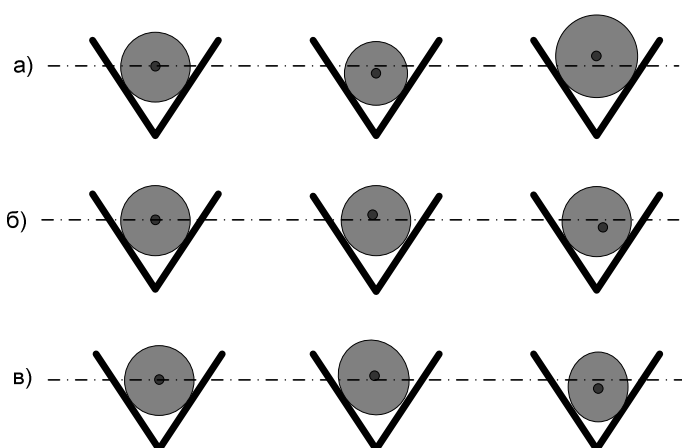


Рис.3.3. Влияние геометрии волокна на качество сварки методом V-образного паза: а) при разбросе значений диаметров оболочке волокна; б) при отклонении concentричности сердцевина /оболочка; в) при неоднородностях оболочки.

Три геометрические характеристики волокна влияют на качество сварки методом V-образного паза:

- разброс значений диаметров оболочки волокна;
- концентричность сердцевины/оболочка;
- неоднородности оболочки волокна – утолщение или полость

Неоднородности оболочки обычно проявляются реже и только на определенных участках волокна. Вследствие этого фактора меньше, чем двух предыдущих. Отметим, что влияние отклонения от идеальной геометрии волокна по трем перечисленным характеристикам практически не ухудшает качества сварки при использовании процедуры автоматического центрирования, поскольку центрирование контролируется положением сердцевины волокон.

После сварки оголенное волокно должно быть механически защищено, для чего чаще всего используют термоусаживающиеся защитные гильзы (так же широко используются термин КДЗС - комплект для защиты стыка). Сварка создает неразрывное соединение и поэтому обеспечивает наилучшие характеристики по вносимым и обратным потерям по сравнению с разъемным соединением или механическим сплайсом. Как правило, сварка используется в местах соединения оптических кабелей при их пролегании вне зданий и в местах оконцевания кабелей внутри зданий. При наружном соединении места сварки защищаются герметичными муфтами. Если же сварные соединения выполнены внутри здания, они помещаются в специальные сплайс – боксы. Преимуществом малых вносимых потерь у сварного соединения особенно сильно проявляются при построении протяженных оптических магистралей с расстоянием между ретрансляторами несколько десятков километров. Получение сварных соединений высокого качества упрощается благодаря постоянному совершенствованию сварочных аппаратов, процедур и практики сварки. Кроме этого, непрерывно улучшается контроль за геометрией в процессе производства волокна и его качество. В результате на сегодняшний

день характерные значения вносимых потерь находятся в диапазоне от 0,05 – 0,1 дБ как для одномодового, так для и многомодового волокна.

Одноволоконная дугавая сварка – один из наиболее распространенных методов сварки, предполагающий сварку одной пары волокон. Одноволоконная дугавая сварка допускает как использование метода автоматического центрирования, так метода V-образного паза.

3.3.1. Количественные оценки качества сварки

Качество сварки определяется: вносимыми потерями и натяжным усилием. Обратные потери при сварном соединении пренебрежимо малы, так как главный фактор обратных потерь, свойственный разъемным соединениям (воздушный зазор) отсутствует. Вклад в обратные потери дает френелевское рассеяние, связанное с разницей в показателях преломления волокон. Однако поставляемое одномодовое волокно имеет очень высокую стабильность показателя преломления $\Delta n/n < 0,001$. Кроме этого, скачок в показателях преломления сглаживается благодаря диффузии, протекающей во время сварки. Вносимые потери, как и потери при организации разрывного соединения, подразделяются на внутренние и внешние потери.

3.3.2. Внутренние потери.

Для многомодового градиентного волокна внутренние, или волоконно-зависимые потери, определяются парным различием числовых апертур, эксцентриситетов, диаметров (концентричностей) и показателей преломления у сращиваемых волокон. Некоторые сварочные аппараты осуществляют выравнивание по осям сердцевин, и, таким образом, ослабляют фактор наличия разности эксцентриситетов. Но невозможно устранить потери из-за скачка диаметров и числовых апертур. Эти потери зависят от направления и естественно возникают, когда свет переходит из волокна с большим диаметром в волокно с меньшим или из волокна с большей апертурой в волокно с

меньшей апертурой. Потери носят аддитивный характер: вклад во внутренние потери будет представлен суммой отдельных потерь из-за отклонения в диаметрах и отклонения в числовых апертурах. Теоретические оценки вклада во внутренние потери двух основных факторов (разницы диаметров и разницы апертур) приведены на рис. 3.4.

Для одномодового ступенчатого волокна доминирующим фактором внутренних потерь является различие в диаметрах модовых полей (MFD). Ведущие фирмы-производители оптического волокна выпускают одномодовое волокно с достаточно высокой стабильностью значений MFD. Например, в наихудшем случае волоконно-зависимые потери при сварке волокон с $MFD\ 9,3 \pm 0,5$ мкм составляют 0,04 дБ.

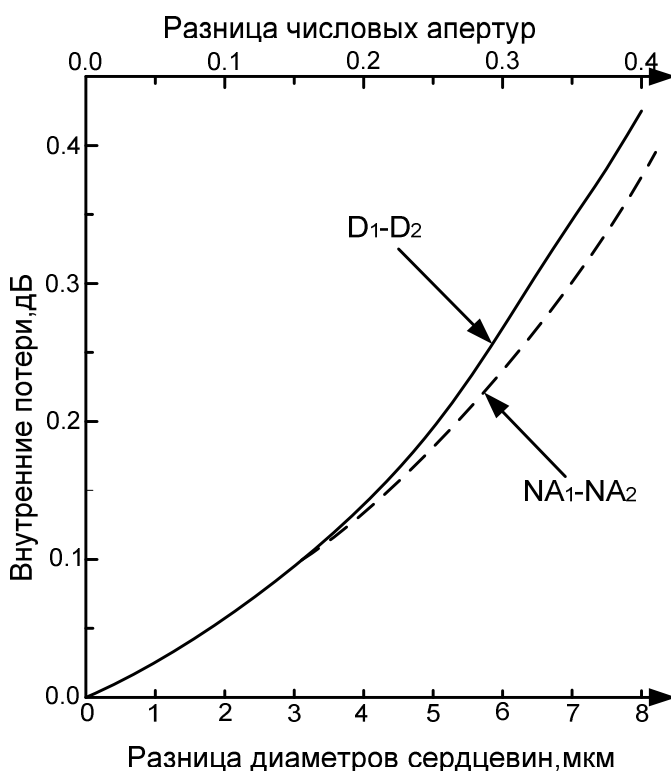


Рис. 3.4. Внутренние потери при сварке из-за разности диаметров и числовых апертур волокон

3.3.3. Внешние потери

Внешние потери возникают вследствие несовершенства самого процесса сварки. Они включают осевое, угловое отклонение, загрязнение и

деформацию сердцевин волокон. Влияние этих факторов может быть уменьшено благодаря индивидуальному мастерству и опыту специалиста, выполняющего сварку, или благодаря качеству автоматического сближения и выравнивания волокон и циклам дуговой сварки при использовании современных сварочных аппаратов-автоматов.

Натяжное усилие, необходимое для разъединения сваренных волокон, также характеризует качество сварки. Чем выше значение разрывного усилия, тем выше качество сварки. Естественно, нет смысла разрывать готовое соединение, но можно делать контрольные измерения, тем самым, определяя, насколько качественно может быть выполнена сварка для данных типов волокон. Причиной разрыва является повышенная концентрация и большие размеры микротрещин на поверхности в окрестности места сварки.

3.4. Технология сварки

Подготовка волокна. Разделка свариваемых волокон. Эту операцию можно производить при помощи: хорошо заточенного ножа или скальпеля. Для этого, в состав комплекта разделочных инструментов добавлены: скальпель. Сделать продольный или спиральный надрез защитной изоляции кабеля и отрезать его. С помощью скальпеля срезать одну оболочку за другой. Аккуратно срезать фторопластовую оболочку при этом соблюдая правила индивидуальной безопасности.

Скалывание волокна. Основное требование к поверхности скола ОВ состоит в обеспечении его перпендикулярности к оси волокна. Например, угол наклона поверхности скола более 2° может удвоить потери в сварном соединении. Имеющиеся в настоящее время на рынке, устройства скола, позволяют стабильно получать значения этого угла в пределах $0,5^\circ$.

Юстировка волокон. Сварка волокон может проводиться как по одиночке, так и по несколько волокон одновременно. В первом случае находят применение сварочные аппараты, использующие принцип автоматического или ручного сведения сердцевин волокон либо по максимуму оптического сигнала,

проходящего через стык перед сваркой, либо по профилю показателя преломления волокна.

При одновременной сварке нескольких волокон, например в случае ленточных кабелей, сведение волокон осуществляется путем использования V-образных канавок.

Процесс сварки. После того, как волокна состыкованы, начинается процесс их сварки. В качестве первого шага часто используется очистка торцов от загрязнений с помощью вспомогательных дуговых разрядов.

Следующий шаг состоит в предварительном нагреве концов волокон до состояния размягчения, что позволяет волокнам сплавляться в месте контакта. Слишком высокая температура процесса на этой стадии может вызвать чрезмерную деформацию концов волокон и привести к некачественной сварке из-за нарушений геометрии волокон. Слишком низкая температура может вызвать искривление волокон и нарушение их стыковки при сварке.

Оптимальная температура в момент сварки зависит от температуры предварительного нагрева, тока дуги и времени разряда в момент сварки и отрезка времени между предварительным нагревом и моментом сведения волокон. Применяемые в разных аппаратах методы предварительного нагрева могут быть разделены на продолжительный и импульсный нагрев. В первом случае достигается равномерный прогрев торцевой поверхности волокна, во втором - тепло концентрируется на периферии торца. Высокое качество сварки может быть достигнуто в обоих методах, но при импульсном нагреве сварное соединение внешне может иметь утоньшение.

4. Способы измерения потерь в оптических волокнах

Как правило, после сращивания волокна, необходимо оценить потери, полученные в месте стыка световодов, для этого кратко рассмотрим основные способы измерения оптических потерь в оптических волокнах.

Существуют различные методы измерения затухания в волоконно-оптических линиях связи, но наиболее распространенными являются следующие: прямой метод, метод обратного рассеяния, метод “обрыва”.

1) Прямой метод

В данном методе измерение затухания основано на определении оптической мощности сигнала, на входном и выходном концах оптического волокна (ОВ), и дальнейшем расчете затухания по следующей формуле, [1]:

$$a = 10 \lg(P_0/P_L), \quad (\text{дБ}) \quad (3.8)$$

где P_0 — мощность, вводимая в ОВ;

P_L — мощность на конце световода.

Метод дает хорошие результаты, когда значение измеряемого затухания составляет (30...40) дБ и более. В этом случае, можно получить высокую воспроизводимость результатов, если измерительный прибор автоматизировать для получения частотной характеристики потерь в ОВ, используя автоматическую обработку результатов измерения мощности, встроенным в прибор компьютером и запись результатов. Суммарная погрешность измерения данным методом обычно не превышает (1...3) дБ.

Чаще, для определения потерь, применяются простейшие приборы, состоящие из излучающего элемента, фотодиода и регистрирующего прибора для измерения потерь на одной длине волны.

2) Метод обратного рассеяния

Метод обратного рассеяния основан на регистрации потока обратного рассеяния в (ОВ), возникающего при прохождении по нему зондирующего сигнала, вследствие отражения от рассеянных и локальных неоднородностей.

Данный метод позволяет: измерять затухание ОВ; функции распределения затухания по длине ОВ и распределения локальных неоднородностей, включая определение места обрыва ОВ.

Для количественной оценки затухания обратного рассеянного потока излучения, можно воспользоваться следующим выражением, [1]:

$$a_{0.P.} = 10[\lg(2/\Delta) + \lg(n_1/c_{\text{рт.им}})], \quad (\text{дБ}) \quad (3.9)$$

где Δ – относительная разность показателей преломления ОВ, $\Delta=(n_1^2 - n_2^2)/2n_1^2$

n_1 – показатель преломления сердцевины волокна

n_2 - показатель преломления оболочки волокна

c – скорость света в вакууме

a_p – коэффициент затухания от рассеяния света

$t_{им}$ – длительность зондирующего импульса

Учитывая, что мощность потока обратного рассеяния зависит от направления прохождения зондирующего импульса, измерения осуществляют с двух сторон, что повышает точность измерений потерь при относительно коротких длинах ОВ.

3) Метод с обламыванием концов ОВ

Метод используется в случае соединения ОВ с малыми потерями при $a=1$ дБ/км и менее. При этом, для уменьшения потерь от отражений на дальнем конце ОВ используют иммерсионную жидкость. Чтобы повысить точность измерения входной мощности, необходимо проводить измерение на расстоянии (3...4) м от входного торца, с этой целью производят обламывание концов ОВ.

Измерение затухания производят в следующей последовательности. Вначале измеряется мощность на выходе волокна. Для повышения точности, измерения проводят несколько раз, обламывая конец ОВ по несколько сантиметров. В качестве измеренного значения на выходе выбирают наибольшее из полученных данных.

Анализируя методы определения потерь, следует отметить, что “прямой метод” измерения потерь в ОВ является достаточно простым и не требует дорогостоящей аппаратуры, поэтому он взят за основу измерения потерь при соединении волокон в данной лабораторной установке.

Описание работы блока контроля качества сварки при проведении измерений

БККС изготовлен в виде настольного прибора. Разработанная лицевая панель прибора изображена на рисунке 4.1.

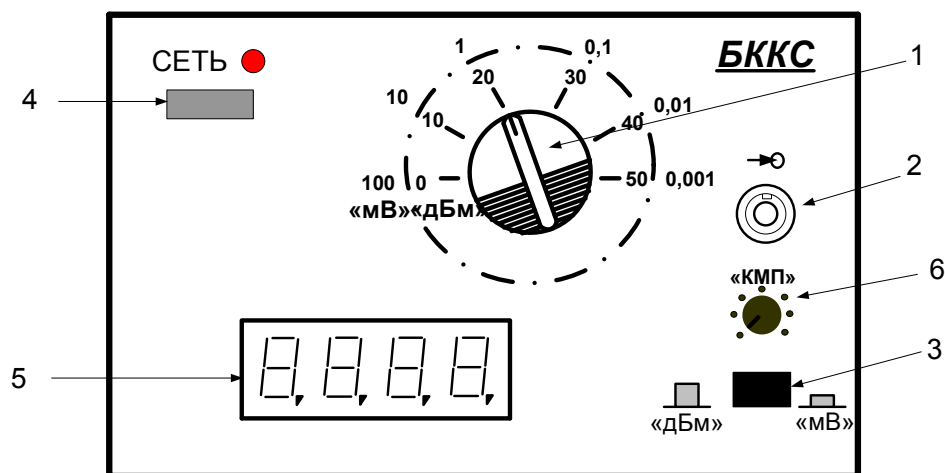


Рисунок 4.1 - Лицевая панель прибора.

1. От оптического входа 2 отключить заглушку и подсоедините к нему выход (контрольного) волокно - оптического кабеля оканчивающегося разъёмом.
2. Переключатель пределов измерения (1) переключить в положение наибольшей мощности оптического сигнала (положение 0 дБм)
3. Кабель с двухполюсной вилкой блока питания подключите к сети 220 В.
4. Нажмите кнопку включения сети, при этом должен загореться индикатор включения сети, который расположен рядом с кнопкой включения сети. Дайте прибору прогреться в течение одной минуты.
5. Установить нуль на индикаторе (5), вращая ручку потенциометра «КМП».
6. Подайте сигнал и произведите измерение мощности сигнала.
7. При необходимости переключателем пределов измерений выберите наиболее удобный предел, для регистрации показаний индикатора. В выбранном положении переключателя при отсутствии сигнала следует повторить установку нуля (в соответствии с пунктом 5).
8. Произвести измерение мощности сигнала (записать результат P_0).

9. Подключите испытуемый образец волокно - оптического кабеля и произведите повторное измерение мощности P_1 .

Величина затухания испытываемого кабеля (включая затухание на его разъеме) определяется по формуле

$$a = P_1/P_0 \text{ (дБ)}. \quad (4.1)$$

Переключателем рода работ (3) можно изменять режим измерения мощности.

При измерении мощности в режиме “мВт” на цифровом индикаторе прибора высвечивается значение мощности излучения в милливаттах.

При измерении мощности в режиме “дБм” на цифровом индикаторе прибора высвечивается значение мощности излучения, численно равное уровню измеряемой мощности в децибелах по отношению к уровню мощности 1 мВт.

5. Экспериментальная часть

5.1. Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка предназначена для сварки оптических световодов, электрической дугой, и определение вносимых потерь зависящих от типов и качества соединений.

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис.5.1.

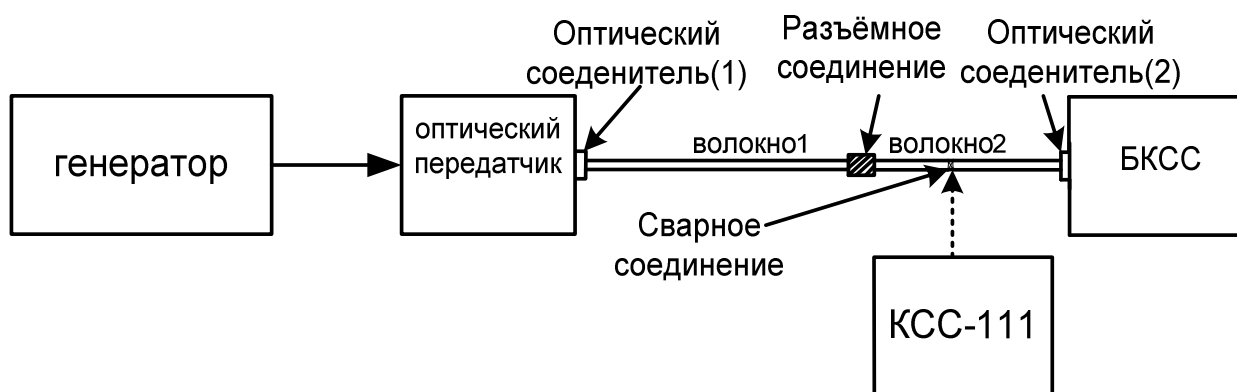


Рисунок 5.1. Структурная схема экспериментальной установки.

- Генератор модулирующего напряжения;

- Оптический передатчик (источник излучения лазерный или светоизлучающий диод) обеспечивает преобразования входного аналогового сигнала в оптический.
- Оптический соединитель 1 осуществляет ввод излучения в ОВ. Устройство должно обеспечивать высокую надежность соединения и минимальные потери мощности при вводе.
- Оптическое волокно 1-контрольное ОВ должно быть диаметром не меньше исследуемого.
- Разъёмное соединение служит для соединения отрезков оптических кабелей между собой, и будет обеспечено при помощи оптического соединителя.
- Исследуемое волокно
- В качестве прибора для сварки световодов электрической дугой и защиты места сварки, использован сварочный аппарат модификации КСС-111.
- Блок контроля качества сварки (БККС) предназначен для измерения проходящей оптической мощности.

Принцип действия установки.

Аналоговый сигнал, генерируемый источником (генератором) поступает на вход оптического передатчика. Оптический передатчик обеспечивает преобразование входного электрического аналогового сигнала в выходной световой аналоговый сигнал. С помощью оптического соединителя 1 осуществляется ввод оптического сигнала в волокно 1 (контрольное волокно) которое соединено с волокном 2 (исследуемое волокно) разъемом. Оптический соединитель 2 осуществляет вывод оптического сигнала из световода, который поступает в БККС. На входе БККС стоит оптический приемник который осуществляет обратное преобразование входных оптических импульсов в выходные импульсы электрического тока. В качестве основного элемента оптического приемника используются р-і-n фотодиод, имеющие очень малую инерционность. После усиления и детектировании сигнал поступает в АЦП.

Цифровая информация на выходе АЦП представляется в специальном коде, предназначенном для непосредственного управления цифровыми табло выполненное на жидких кристаллах (ЖКИ).

5.2. Подготовка к работе

1) Ознакомиться со схемой лабораторной установки. Ознакомиться с аппаратурой, служащей для сварки и измерения потерь.

2) Подключить приборы лабораторной установки, согласно схеме приведенной на рисунке 4.1, соблюдая полярность источников питания.

3) Проверить заземление приборов с общей шиной заземления на рабочем месте.

4) Перед включением сварочного аппарата убедитесь что, тумблер НАГРЕВ находится в положении ВЫКЛ, а кнопки ЭЛЕКТРОД и ЗАЗОР в отжатом положении. При помощи соответствующих потенциометров установите ток оплавления 12 мА и время оплавления 0.7 с, а также, значения тока разряда 12 мА и времени разряда 2 с.

5) БККС для установления рабочего режима требуется время порядка 5 минут.

5.3. Порядок выполнения работ

1. Измерение затухания вносимого разъёмным соединением

1) Для измерения затухания вносимого разъёмным соединением в первую очередь следует произвести измерение мощности сигнала

2) Для этого один разъёмом контрольного ОВ следует подключить к выход оптического передатчика (рисунок 4.1), а второй подключить ко входу БККС (оптический разъём 2).

- 3) Подать сигнал и измерить мощность оптического сигнала (при этом потерями возникающими на вводе и выводе излучения можно пренебречь).
- 4) Записать результат измерения $P_{1,1}$.
- 5) Отключить разъем (оптический соединитель 2) от входа БККС Произвести подключение исследуемого волокна (волокно 2) один конец следует подключить к входу БККС а второй соединяется с контрольным ОВ.
- 6) Подать сигнал и измерить мощность оптического сигнала (результат измерения $P_{1,2}$)
- 7) Вычислить затухания на разъемном соединителе (в месте, где соединены исследуемое и контрольное ОВ) по формуле

$$a_{p.c} = -P_{1,2} / P_{1,1} \text{ (дБ)} \quad (4.1)$$

Если измерения проводилось, когда переключатель «рода работ» был в положении «мВт», то вносимые потери находятся по формуле

$$a_{p.c} = -10 \log P_{1,2} / P_{1,1} \text{ (дБ)}$$

2. Измерение затухания вносимого неразъемным соединением

Подготовка световода к сварке.

- 1) Отключить исследуемое волокно (волокно 2).
- 2) В центре исследуемого волокна при помощи лезвия бритвы снять защитную и упрочняющую оболочки.

3) Салфеткой из бязи смоченной этиловым спиртом марки А ГОСТ 17299-78, протереть до скрипа освобожденный от упрочняющей изоляции световод.

4) Подготовленный световод положить на ластик для стирания, и при помощи пилки с алмазным напылением произвести надпил, строго по центру, относительно ластика, в заранее подготовленном месте световода. Далее следует плотно прижать световод к ластик, который предварительно зажимают между пальцами и резким сгибанием ластика, не отпуская световода, произвести скол. После скалывания торец световода не должен

содержать: сколов, трещин и шпеньков. Качество скалывания контролировать вспомогательным микроскопом.

5) Протереть конец световода салфеткой, смоченной в спирте.

6) Уложить подготовленный световод в канавку правого манипулятора так чтобы конец световода находился примерно на середине кюветы, и зафиксируйте его с помощью прижима.

7) Аналогично уложить подготовленный световод в канавку левого манипулятора опустить прижим.

8) Для юстировки свариваемых световодов, используется вспомогательный микроскоп. При помощи штатива, микроскоп устанавливается над электродами. Штатив закрепляется с помощью винта на специальную подставку, содержащую паз, которая находится выше верхнего электрода. Использование этого микроскопа дает четкое изображение световодов при их юстировке.

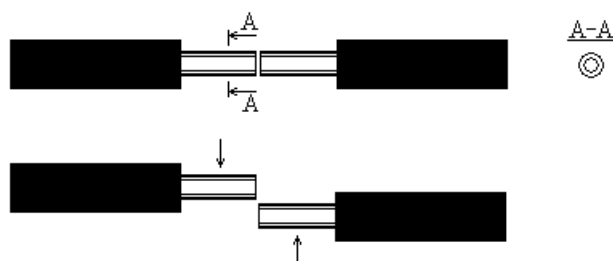
9) Произвести юстировку световодов, наблюдая за их положением в микроскоп, следующим образом:

Во-первых, при помощи микроманипуляторов, которые расположены слева и справа от блока электродов, произвести горизонтальное сведение световодов, как показано на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2. Вид световодов в микроскоп.

Во-вторых, произвести вертикальное сведение световодов (рисунок 4.3), при помощи микроманипуляторов, которые находятся возле нижнего электрода. Когда световоды четко сведены по двум координатам. Зазор между торцами волокон перед оплавлением должен быть не более радиуса волокна.



При необходимости плавного сведения световодов использовать ручки:
КООРД.Х, КООРД.У.

Рисунок 4.3

- 10) Автоматическая сварка световодов
 - а. Нажать кнопку ОПЛАВ после чего произойдет оплавление световода.
 - б. Уменьшить зазор между торцами волокон до $5 \pm 0,5$ мкм
 - в. Нажать кнопку АВТ после чего во время сварки необходимо плавно сводить световоды с помощью передвижения правого манипулятора. Место стыка световодов после сварки должно соответствовать (рис 4.2.)

11) Измерение потерь на неразъемном (сварном) соединении

12) Повторить пункт 1.5.

13) Подать сигнал и измерить мощность оптического сигнала (результат измерения $P_{2,2}$)

14) Произвести расчет затухания на сварном соединении по формуле

$$a_{с.с} = -P_{1,2} / P_{2,2}$$

15) Проведите сварку волокна 4-5 раз изменяя при этом ток сварки в пределах от 14 до 20 мА. Значения тока и времени сварки также занесите в таблицу 4.1.

16) Определите оптимальный ток сварки.

17) Рассчитайте средние потери при оптимальном токе сварки.

18) Произведите сравнения затуханий на сварном и разъемном соединении

19) Сделать выводы, о проделанной работе указав причины возникающих потерь на сварном и разъемном соединении.

После проведения измерений необходимо выключить установку, для этого тумблер “питание” перевести в положении ВЫКЛ, уложить все инструменты и принадлежности на соответствующее место. Необходимо

чтобы, кнопки ЭЛЕКТРОД и ЗАЗОР находились в отжатом положении.
Выключить оптический тестер и соответствующие блоки питания.

Таблица 4.1.

№	Ток сварки	Время сварки	Мощность (мкВт)	Мощность (дБм)	Мощность (мкВт)	Мощность (дБм)	Затухание (дБ)
1							
2							
3							

6. Содержание отчета

6.1 Цель работы.

6.2 Структурная схема установки с кратким описанием основных блоков.

6.3 Результаты экспериментов по (пп. 3.4.1 – 3.4.4)

6.4 Расчет затухания.

6.5 Обработка экспериментальных данных.

6.6 Выводы по результатам работы.

7. Контрольные вопросы

7.1. Какие методы измерения оптических потерь вы знаете, и в чем они заключаются?

7.2. Поясните необходимость процедуры оплавления волокон?

7.3. Каким образом осуществляется разделка оптических волокон?

7.4. Для чего используют микроскоп?

7.5. Что понимается под юстировкой волокна?

7.6. Какую роль выполняет защитный слой волокон?

7.7. Для чего используется иммерсионная жидкость?

7.8. Какую функцию выполняют БККС?

Список литературы

1. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических линиях связи [Электронный ресурс]: Уч. пособие. - Электрон. текстовые дан. - Томск: ТУСУР, 2012. – 123 с. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/771>.

2. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи: научное издание.- М.: Эко-Трендз, 2006. - 268 с.

3. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи: Справочник. Т. 4: Активные элементы и средства контроля ВОЛС. Под ред. В. Ф. Мышкина, В. А. Хана, А. В. Шмалько. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2005г. -371 с.

4. Техническая документация на комплект для сварки одномодовых световодов мод. КСС–111 (АРБ М2.322.009 ПС).

