ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-45– 2013

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-45
Методы измерений и проведение испытаний. Диаметр модового поля

IEC 60793-1-45:2001
Optical fibres – Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности (ОАО «ВНИИКП») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 46 «Кабельные изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 сентября 2013 г. № 912-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-45:2001 «Волокна оптические. Часть 1-45. Методы измерений и проведение испытаний. Диаметр модового поля» (IEC 60973-1-45:2001 «Optical fibres – Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter»), включая техническую поправку Cor 1:2002.

Техническая поправка к указанному международному стандарту, принятая после его официальной публикации, внесена в текст настоящего стандарта и выделена двойной вертикальной линией, расположенной на полях от соответствующего текста, а обозначение и год принятия технической поправки приведены в скобках после соответствующего текста.

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-45
Методы измерений и проведение испытаний.
Диаметр модового поля

Optical fibres. Part 1-45. Measurement methods and test procedures - Mode field diameter

Дата введения – 2015–01–01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает единые требования к измерению диаметра модового поля (далее – ДМП) оптического волокна (далее – волокно), обеспечивая проверку соответствия волокон и кабелей целям коммерческого использования.

Измерение ДМП заключается в измерении поперечной области интенсивности электромагнитного поля моды в поперечном сечении волокна. ДМП рассчитывают из распределения интенсивности в дальнем поле как отношение интегралов, известное как определение Петерманна II [см. уравнение (1)].

Способы определения ДМП жестко связаны с конфигурациями измерительного оборудования. Математическая эквивалентность этих способов определения ДМП следует из взаимосвязей преобразований между результатами измерений, полученными разными способами, представленными в общем виде на рисунке 1:

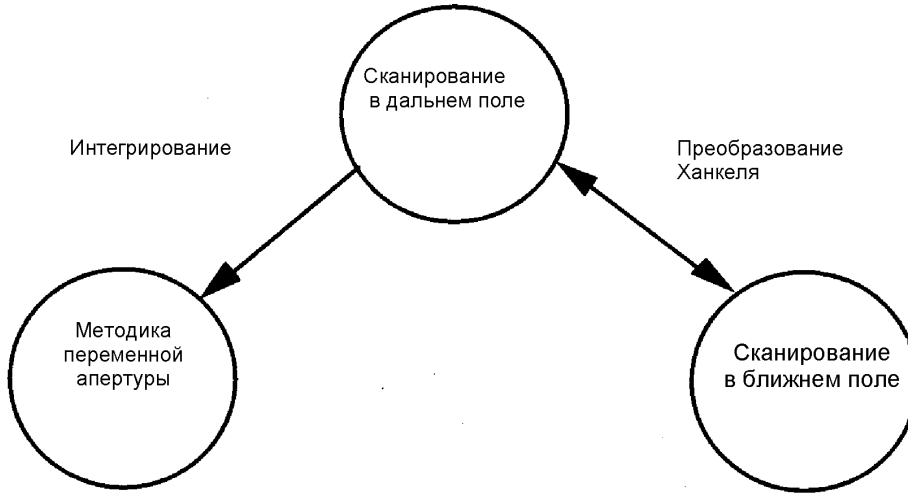

Рисунок 1 – Взаимосвязи преобразований между результатами измерений

В настоящем стандарте приведены четыре метода измерения ДМП:

- метод A: прямое сканирование в дальнем поле;
- метод B: переменная апертура в дальнем поле;
- метод C: сканирование в ближнем поле;
- метод D: двунаправленное обратное рассеяние с использованием рефлектометра оптической временной области (РОВО).

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты:

МЭК 60793-1-40[1] Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание (IEC 60793-1-40 Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures –Attenuation)

МЭК 60793-2:1998[2] Волокна оптические. Часть 2. Технические условия на изделия (IEC 60793-2:1998 Optical fibres – Part 2: Product specifications)

3 Эталонный метод испытания

Метод А прямого сканирования в дальнем поле принят в качестве эталонного метода испытания (ЭМИ) и должен быть использован при разрешении спорных ситуаций.

4 Оборудование

Оборудование, общее для всех методов измерений, указано в настоящем разделе. В приложениях А, В, С и D содержатся схемы и другие требования к оборудованию для каждого из четырех методов соответственно.

4.1 Источник света

Для методов А, В и С используют соответствующий когерентный или некогерентный источник света, например полупроводниковый лазер или достаточно мощный источник фильтрованного белого света. Источник должен генерировать достаточное излучение при установленной длине волны (длинах волн) и быть стабильным по интенсивности в течение всего времени проведения измерения.

Если требуется, то для выбора значений длины волны может быть использован монохроматор или интерференционный фильтр (фильтры). Значение длины волны источника указывают в подробной спецификации на волокно/кабель. Ширина спектральной линии источника по уровню полумаксимума должна быть не более 10 нм, если не установлено иное.

В приложении D приведены требования к методу D.

4.2 Оптика ввода излучения

Для метода А, В или С в целях возбуждения образца используют систему оптических линз или пигтейл волокна. Рекомендуется, чтобы положение входной торцевой поверхности образца волокна не влияло на мощность излучения, вводимого в образец, что может быть достигнуто использованием возбуждающего луча, пространственно и под углом переполняющего входную торцевую поверхность образца.

Во избежание эффектов интерференции при стыковом соединении используют гель для компенсации потерь отражения между пигтейлом волокна и образцом. Соединение должно быть стабильным во время измерения.

---

[1] Следует применять последнее издание указанного стандарта, включая все последующие изменения.

[2] Действуют МЭК 60793-2:2011, МЭК 60793-2-10:2011, МЭК 60793-2-20:2007, МЭК 60793-2-30:2012, МЭК 60793-2-40:2009, МЭК 60793-2-50:2012. Для однозначного соблюдения требований настоящего стандарта, выраженных в датированных ссылках, рекомендуется использовать только данный ссылочный стандарт.

В приложении D приведены требования к методу D.

4.3 Входное устройство позиционирования

Для правильного расположения входного конца волокна по отношению к источнику света применяют соответствующие средства. Примером может служить использование каскадов устройства позиционирования по осям *x*, *y*, *z* или устройств механического соединения, например соединителей, вакуумного неразъемного соединения, трехстержневого неразъемного соединения, и т. д. Положение волокна должно оставаться стабильным в течение времени измерения.

4.4 Фильтр оболочечных мод

Используют устройство, удаляющее оболочечные моды. В определенных условиях защитное покрытие волокна будет выполнять эту функцию.

4.5 Фильтр мод высокого порядка

Принимают меры для удаления мод высокого порядка, распространяющихся в диапазоне длин волн, который больше длины волны отсечки образца или равен ей. Например, в общем случае достаточно изгиба волокна в один виток радиусом 30 мм.

4.6 Выходное устройство позиционирования

С помощью соответствующих средств торцевую поверхность выходного конца волокна выравнивают в целях точного соосного расположения выходного конца так, чтобы для измеряемой длины волны растровое изображение было соответствующим образом сфокусировано на плоскости сканирующего детектора. Для такого сопряжения могут быть использованы линзы или механический соединитель с пигтейлом детектора.

Для размещения волокна на фиксированной дистанции от апертур или детекторов используют микроскоп бокового вида или камеру с курсором в форме перекрестия. Может быть достаточным проведение регулировки положения волокна только в продольной плоскости, если волокно ограничено в боковой плоскости определенным устройством, например вакуумным держателем. (Это зависит, главным образом, от размера детектора света.)

4.7 Оптика вывода

Соответствующие требования приведены в приложениях A, B, C и D.

4.8 Детектор

Соответствующие требования приведены в приложениях A, B, C и D.

4.9 Компьютер

Для выполнения таких действий, как управление оборудованием, измерения интенсивности и обработка данных для получения окончательных результатов, применяют компьютер. Более подробная информация приведена в приложениях A, B, C и D соответственно.

5 Отбор и подготовка образцов

5.1 Длина образца

Для методов A, B и C образец должен иметь известную длину, как правило, это одномодовое волокно длиной (2 ± 0,2) м.

Примечание – Для метода D, POBO, образец должен иметь длину, достаточную для превышения длины компенсирующей катушки с волокном POBO, или быть расположен позади нее, при этом оба конца

образца должны быть доступны, как указано в методе испытания с помощью обратного рассеяния в МЭК 60793-1-40.

5.2 Торцевая поверхность образца

Подготавливают плоскую торцевую поверхность, перпендикулярную к оси волокна на входном и выходном концах каждого образца.

6 Проведение испытания

Соответствующие требования приведены в приложениях A, B, C и D.

7 Расчеты

Основные уравнения для расчета ДМП по методам A, B и C указаны ниже. Дополнительные расчеты приведены в соответствующих приложениях: A, B, C или D. Наборы данных для образцов для методов A, B и C включены в приложение E.

7.1 Метод A. Прямое сканирование в дальнем поле

Следующее уравнение определяет ДМП для метода A на основе электромагнитного поля, излучаемого из конца образца.

ДМП рассчитывают методом сканирования данных дальнего поля и оценкой интеграла Петерманна II, который получают из распределения интенсивности в дальнем поле:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi} \cdot \left[\frac{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin(\theta)\cos(\theta)d(\theta)}{\int_0^{\pi/2} P_F(\theta)\sin^2(\theta)\cos(\theta)d(\theta)} \right], \quad (1)$$

где $2W_0$ – ДМП, мм;

$P_F(\theta)$ – распределение интенсивности в дальнем поле;

λ – длина волны, при которой проводят измерение, мкм;

θ – угол при измерении в дальнем поле, отсчитываемый от оси волокна.

Примечания

1 Пределы интегрирования указаны от 0 до $\pi/2$, но подразумевают, что при увеличении аргумента подынтегральная функция стремится к нулю, поэтому на практике интегралы могут быть усеченными.

2 $P_F(\theta)$ – это $F^2(\theta)$ в изданиях Комитета по телекоммуникациям Международного союза электросвязи (ITU-T).

Метод дальнего поля для определения ДМП одномодового волокна представляет собой двухэтапную процедуру. Сначала измеряют диаграмму излучения в дальнем поле. Затем проводят математическую процедуру, основанную на определении Петерманна II для дальнего поля; используя данные дальнего поля, рассчитывают модовое поле в соответствии с вышеуказанным уравнением (1).

В приложении E указаны данные для образца и расчетные значения для $2W_0$, позволяющие проверить числовую оценку интеграла Петерманна II. Данные для образца указаны в форме значений мощности излучения, распределенной по свернутому закону $P_F(\theta)$, как функции от угла θ.

7.2 Метод B. Переменная апертура в дальнем поле

По следующим уравнениям определяют ДМП для метода B на основе электромагнитного поля, излучаемого из конца образца.

ДМП, $2W_0$, рассчитывают следующим образом:

$$2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi D}\right) \cdot \left[\int_0^{\infty} \alpha(x) \frac{x}{\left(x^2 + D^2\right)^2} dx \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где $2W_0$ – ДМП, мм;

λ – длина волны, при которой проводят измерение, мкм;

D – расстояние между апертурой и волокном, мм;

α(*x*) – вспомогательная передаточная функция апертуры, рассчитываемая по формуле

$$=\alpha(x)=1-\frac{P_{(x)}}{P_{(\max)}}, \quad (3)$$

где *P*(*x*) – значение мощности, полученное при измерении по апертуре радиуса *x* или половине угла θ;

P(max) – максимальное значение мощности, предполагающее бесконечную апертуру;

x – радиус апертуры, рассчитываемый по формуле

$$x = D \cdot \mathrm{tg}(\theta), \quad (4)$$

где *D* – расстояние между апертурой и волокном, мм.

Математическая равнозначность уравнений (1) и (2) справедлива при аппроксимации малых углов θ. При данной аппроксимации уравнение (2) может быть получено из уравнения (1) методом интегрирования. Другое равнозначное выражение для уравнения (2) приведено ниже

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi} \cdot \left[\int_0^{\infty} \alpha(\theta)\sin 2\theta \, d\theta\right]^{1/2}, \quad (5)$$

где $2W_0$ – ДМП, мм;

α(θ) – вспомогательная функция апертуры, рассчитываемая по формуле

$$\alpha(\theta)=1-\frac{P(\theta)}{P(\max)}, \quad (6)$$

где *P*(θ) – значение мощности, полученное при измерении по наибольшей апертуре;

P(max) – максимальное значение мощности, предполагающее бесконечную апертуру.

Метод переменной апертуры в дальнем поле для определения ДМП одномодового волокна представляет собой двухэтапную процедуру. Сначала измеряют двухмерную диаграмму в дальнем поле как мощность, проходящую через последовательность передающих апертур разного размера. Затем используют математическую процедуру для расчета ДМП по данным дальнего поля.

Математический базис для расчета ДМП основан на определении Петерманна II для дальнего поля из уравнения (1). Математическая равнозначность уравнений (1) и (3) справедлива при аппроксимации малых углов θ. Уравнение (5) получают из уравнения (1) методом интегрирования.

7.3 Метод С. Сканирование в ближнем поле

Следующее уравнение определяет ДМП для метода С на основе электромагнитного поля, излучаемого из конца образца.

ДМП рассчитывают из распределения измеренной интенсивности в ближнем поле, используя следующий интеграл:

$$2W_0 = 2 \cdot \left[2\frac{\int_0^{\infty} r\, f^2(r)\, dr}{\int_0^{\infty}\left(\frac{df(r)}{dr}\right)^2 dr}\right], \quad (7)$$

где $2W_0$ – ДМП, мм;

r – радиальная координата, мкм;

$f^2(r)$ – распределение интенсивности в ближнем поле.

Примечание – Верхние пределы интегрирования указаны как бесконечность, но подразумевают, что при увеличении аргумента подынтегральная функция стремится к нулю, поэтому на практике интегралы могут быть усеченными. Алгоритм сглаживания может быть использован для расчета производной.

Метод сканирования в ближнем поле для определения ДМП одномодового волокна представляет собой двухэтапную процедуру. Сначала измеряют радиальную диаграмму излучения в ближнем поле. Затем используют математическую процедуру для расчета ДМП по данным ближнего поля.

Математический базис для расчета ДМП основан на определении Петерманна II из уравнения (1). Математическая равнозначность уравнений (1) и (5) справедлива при аппроксимации малых углов θ. При данной аппроксимации ближнее поле *f*(*r*) и дальнее поле *F*(θ) формируют пару

Ханкеля. Посредством преобразования Ханкеля переходят от уравнения (1) к уравнению (7) и наоборот.

8 Результаты

8.1 Информация, получаемая по каждому измерению

По каждому измерению должна быть представлена следующая информация:
- дата и наименование измерения;
- обозначение образца;
- значение длины волны оптического источника;
- диаметр (диаметры) модового поля, мкм.

8.2 Информация, предоставляемая по требованию

По требованию должна быть представлена следующая информация:
- используемый метод измерения: A, B, C или D;
- тип используемого оптического источника и ширина его спектра (ширина спектра по уровню полумаксимума);
- описание оборудования;
- подробное описание методики вычислений;
- дата последней калибровки измерительного оборудования.

9 Информация в подробной спецификации на волокно/кабель

В подробной спецификации на волокно/кабель должна быть представлена следующая информация:
- тип волокна, на котором проводят измерение;
- критерии приемки или отбраковки;
- информация, указываемая в отчете;
- любые отступления от применяемой методики проведения измерения.

Приложение А
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу А.
Измерение диаметра модового поля методом прямого сканирования в дальнем поле

А.1 Оборудование

В настоящем приложении приведено описание оборудования в дополнение к требованиям, установленным в разделе 4.

На рисунке А.1 представлена типовая схема расположения оборудования для проведения измерения методом прямого сканирования в дальнем поле.

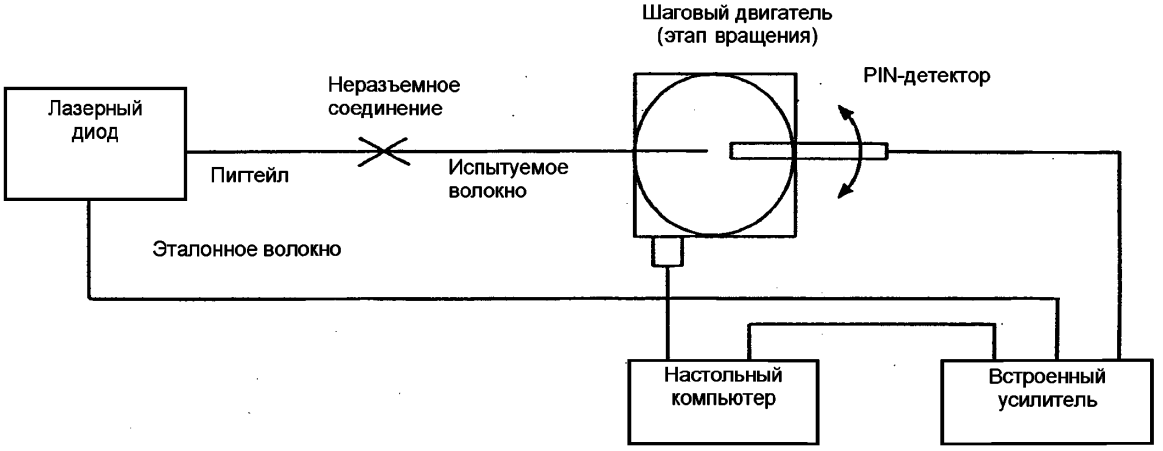

Рисунок А.1 – Расположение оборудования, используемого при измерении в дальнем поле

А.1.1 Блок сканирующего детектора. Электроника детектирования сигнала

Используют механизм сканирования распределения интенсивности в дальнем поле, представленный сканирующим устройством с шагом 0,50° или менее для сканирования детектора. Ось волокна выравнивают по отношению к плоскости вращения детектора, а торцевую поверхность волокна выравнивают по центру вращения области сканирования. Типовая система, которая может включать в себя PIN-фотодиод, работающий в фотогальваническом режиме, усилена входным токовым предусилителем с синхронным детектированием при использовании встроенного усилителя. Детектор должен отстоять от конца волокна не менее чем на 10 мм, и активная область детектора не должна стягивать слишком большой угол в дальнем поле. Для этого детектор размещают на некотором расстоянии от волокна, большем чем $2wb/\lambda$, где $2w$ – ожидаемое значение ДМП образца и b – диаметр активной области детектора.

Для проведения очень точных измерений минимальный динамический диапазон измерений должен быть 50 дБ. Это соответствует максимальному половинному углу сканирования в 20° и 25° или более для волокна категорий В1 и В2 соответственно. При уменьшении динамического диапазона (или максимального половинного угла сканирования) выполнение требований к измерению может приводить к погрешностям. Например, ограничение значений этих параметров до 30 дБ и 12,5° для волокна категории В1 и до 40 дБ и 20° для волокна категории В2 может привести к появлению относительной погрешности при определении ДМП более 1 %.

А.1.2 Компьютер

Типовая система должна также включать в себя компьютер для обработки данных в дальнем поле.

А.2 Проведение измерения

Волокно устанавливают в системе, подготовленной в соответствии с 4.2, таким образом, чтобы выходной конец волокна был расположен на одной линии с блоком детектора в целях передачи максимальной мощности.

Сканируют детектор с шагом 0,5° на равных промежутках и регистрируют мощность детектора.

По зарегистрированным данным рассчитывают значение интеграла Петерманна II и используют его для расчета ДМП волокна, как указано в уравнении (1) и в А.3.

А.3 Расчеты

А.3.1 Определение свернутой кривой мощности

Свернутую кривую мощности для $0 \le \theta_i = \theta_{max}$ рассчитывают по формуле

$$P_F(\theta_i) = \frac{P(\theta_i) - P(\theta_{-i})}{2}, \quad \text{(А.1)}$$

где $P_F(\theta_i)$ – свернутая кривая мощности;

$P(\theta_{-i})$ – измеренная мощность как функция от углового положения θ_i, рад, с индексом *i*.

А.3.2 Расчет верхнего *T* и нижнего *B* интегралов уравнения (1)

Для расчета интегралов уравнения (1) используют методику числового интегрирования. Ниже приведен пример с использованием прямоугольного метода. Применение любого другого метода интегрирования должно обеспечивать не меньшую точность расчетов.

$$T = \sum_0^n P_F(\theta_i)\sin(\theta_i)\cos(\theta_i)d\theta, \quad \text{(А.2)}$$

$$B = \sum_n^n P_f(\theta_i)\sin^3(\theta_i)\cos(\theta_i)d\theta, \quad \text{(А.3)}$$

где $P_f(\theta_i)$ – свернутая кривая мощности;

θ_i – угловое положение с индексом *i*, рад;

$d\theta = \theta_1 - \theta_0$.

А.3.3 Завершающий этап расчетов

$$ДМП = 2W_0 = \left(\frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi}\right)\cdot\sqrt{\frac{T}{B}}, \quad \text{(А.4)}$$

где $2W_0$ – ДМП, мкм;

T – определяют в соответствии с уравнением (А.2);

B – определяют в соответствии с уравнением (А.3).

А.4 Данные образца

Набор данных образца, рассчитанных в соответствии с А.3, приведен в таблице Е.1.

Приложение В
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу В. Измерение диаметра модового поля методом переменной апертуры в дальнем поле

В.1 Оборудование

В настоящем приложении приведено описание оборудования в дополнение к требованиям, установленным в разделе 4.

На рисунке В.1 представлена типовая схема расположения оборудования для проведения измерения методом переменной апертуры в дальнем поле.

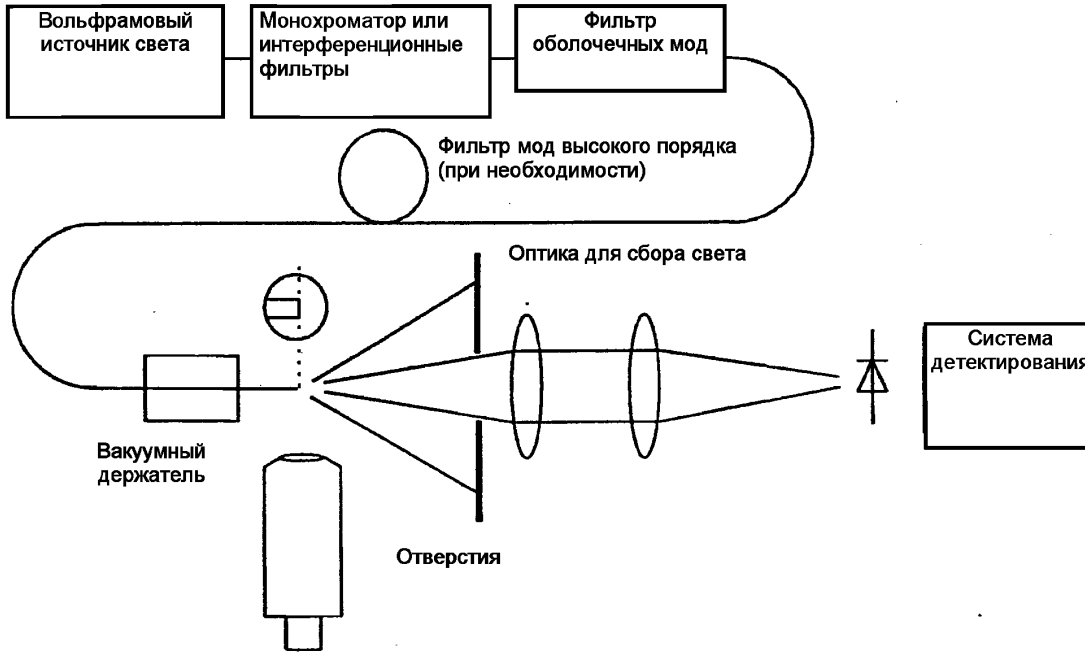

Рисунок В.1 – Расположение оборудования, используемого при измерении методом переменной апертуры в дальнем поле

В.1.1 Блок с переменной апертурой на выходе

Устройство, состоящее из круглых отверстий разного размера, через которые происходит передача сигнала (например, колесо с отверстиями разного размера и формы), размещают на расстоянии не менее 100 W_0^2/λ от образца и используют для изменения мощности, получаемой от выходной диаграммы волокна в дальнем поле. Как правило, отверстия располагают на расстоянии 20 – 50 мм от конца волокна.

Отверстия центрируют по отношению к диаграмме с целью уменьшить чувствительность результатов измерений к углу конца волокна. Для того, чтобы какое-либо дополнительное отверстие не оказывало нежелательного влияния на результаты измерений, используют достаточное число отверстий необходимых размеров. Дополнительно наибольшие отверстия должны иметь достаточные размеры для того, чтобы избежать усечения скомпонованной диаграммы.

Примечания

1 Оптическое выравнивание критически важно.

2 Число и размер отверстий критически важны для точности данного метода. Выбор наилучшего варианта зависит от конструкции испытуемых волокон. Проверка выбранного варианта может быть проведена путем сравнения с методом А – методом прямого сканирования в дальнем поле.

В.1.1.1 Требования к оборудованию для волокна категории В1

Точность измерения ДМП, достигаемая при использовании данной методики, зависит от максимального значения числовой апертуры испытательной установки. Для волокон категории В1 погрешность, как правило, составляет не более 1 % для испытательной установки с максимальным значением числовой апертуры 0,25. При необходимости достижения меньшей погрешности измерений или если образец имеет ДМП менее 8,2 мкм, применяют один из двух способов:

a) используют измерительную систему с максимальным значением числовой апертуры 0,35 и более, или

b) определяют отображающую функцию, которая устанавливает взаимосвязь между измерением на волокне категории В1 на измерительной установке с ограниченной апертурой и измерением на этом же волокне на испытательной установке с числовой апертурой 0,35 и более.

В.1.1.2 Требования к оборудованию для волокон категорий В2, В3 и В4

Максимальное значение числовой апертуры испытательной установки должно быть не менее 0,40 для волокон с ДМП, равным или большим 6 мкм.

В.1.2 Выходная оптическая система

Оптическую систему, например пару линз, зеркал или другое соответствующее оборудование, используют для сбора всего света, проходящего через отверстия, и направления его в детектор.

В.1.3 Блок детектора и электроника детектирования сигнала

Используют детектор, чувствительный к выходному излучению в диапазоне измеряемых значений длин волн и линейный в диапазоне соответствующих значений интенсивности излучения. Типовая система может включать в себя германиевый фотодиод или фотодиод на основе полупроводников типа галлий-индий-мышьяк, работающий в фотогальваническом режиме, и токочувствительный предварительный усилитель с синхронным детектированием при использовании синхронного усилителя. В общем случае для анализа данных требуется компьютер.

В.2 Проведение испытания

В.2.1 Образец, подготовленный в соответствии с 4.2, размещают во входном и выходном выравнивающих устройствах на соответствующем расстоянии от блока с отверстиями.

В.2.2 Устанавливают в блоке отверстий малую апертуру и регулируют дальнее поле так, чтобы при боковом выравнивании апертуры было достигнуто максимальное значение детектируемой мощности.

В.2.3 Измеряют детектируемую мощность для каждого отверстия.

В.2.4 Повторяют процедуру по В.2.3 для каждого установленного значения длины волны, при котором проводят измерение.

В.2.5 Рассчитывают ДМП в соответствии с уравнением (2) и В.3.

В.3 Расчеты

В.3.1 Определение дополнительной функции апертуры

Определяют дополнительную функцию апертуры для каждого отверстия от 1 до *n*:

$$\alpha(\theta_i) = 1 - \frac{P(\theta_i)}{P(\theta_n)}, \qquad \text{(В.1)}$$

где $\alpha(\theta_i)$ – дополнительная функция для каждого отверстия с индексом *i,* от 1 до *n;*

$P(\theta_i)$ – измеренная мощность как функция от углового положения θ_i , с индексом *i*.

В.3.2 Выполнение интегрирования

Используют соответствующую методику числового интегрирования для расчета интегралов уравнения (5). Ниже приведен пример. Применение любого другого метода интегрирования должно обеспечивать не меньшую точность расчетов.

$$T = \sum_1^n \alpha(\theta_i) \sin 2(\theta_i)(\theta_1 - \theta_{i-1}), \qquad \text{(В.2)}$$

где *T* – верхний интеграл уравнения (1);

$\alpha(\theta_i)$ – дополнительная функция апертуры для уравнения (В.1).

Примечание – $\theta_0 = 0$.

В.3.3 Завершающий этап расчетов

$$\text{ДМП} = 2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)\sqrt{\frac{2}{T}}, \qquad \text{(В.3)}$$

где $2W_0$ – ДМП, мкм;

T – определяют в соответствии с уравнением (В.2).

В.4 Набор данных образца

Набор данных образца, рассчитанных в соответствии с В.3, приведен в таблице Е.2.

Приложение С
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу С. Измерение диаметра модового поля методом сканирования в ближнем поле

С.1 Оборудование

В настоящем приложении приведено описание оборудования в дополнение к требованиям, установленным в разделе 4.

На рисунке С.1 представлена типовая схема расположения оборудования для проведения измерения методом прямого сканирования в ближнем поле.

С.1.1 Увеличительная оптика на выходе системы

Используют соответствующую оптическую систему (например, объектив микроскопа) для увеличения выходного конца образца, фокусируя его на плоскости сканирующего детектора. Данная оптика не должна ограничивать числовую апертуру сформированного изображения, и значение этой числовой апертуры должно быть более максимального значения числовой апертуры излучения на выходе волокна и не менее 0,45 для волокон категорий В2 и В3, и не менее 0,35 для волокон категории В1.

С.1.2 Сканирующий детектор

Используют соответствующий сканирующий детектор для измерения поточечной интенсивности диаграммы излучения в ближнем поле. Детектор должен быть линейным в диапазоне соответствующих значений интенсивности излучения.

Используют сканирующую систему (механическую или электронную), обеспечивающую соответствующее разрешение изображения в ближнем поле (как правило, 100 точек или более в диапазоне диаграммы излучения в ближнем поле, направленной на поверхность волокна и превышающей почти в три раза ДМП).

Например, может быть использована любая из следующих методик:

a) неподвижный фотодетектор, в котором поле сканируется путем сканирования пигтейла волокна;

b) сканирующий видикон, прибор с зарядовой связью (CCD) или другие устройства распознавания диаграммы/интенсивности.

Такие устройства точно калибруют по положению.

С.1.3 Электроника детектирования

Для увеличения уровня сигнала используют соответствующую электронную систему. Диапазон значений длин волн такой электронной системы выбирают в соответствии с типом используемой методики.

При сканировании выходного конца волокна с механической или оптической системой, как правило, модулируют оптический источник. При принятии такой методики усилитель (например, синхронный усилитель) соединяют с источником модулирующей частоты. При сканировании с помощью электронных средств используют соответствующую видеоанализирующую систему и систему для автоматического сканирования изображения в ближнем поле, получения и обработки данных.

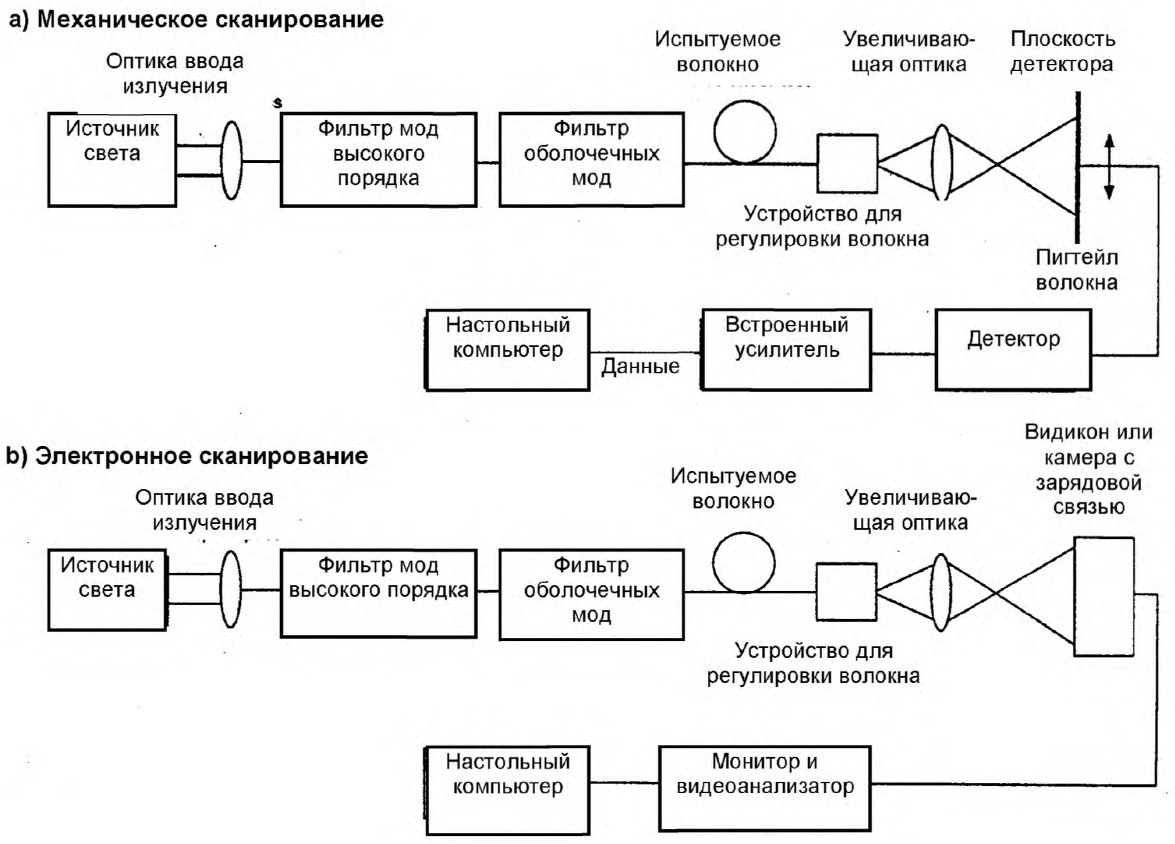

Рисунок С.1 – Расположение оборудования, используемого при измерении в ближнем поле

С.2 Проведение испытания

С.2.1 Образец, подготовленный в соответствии с 4.2, размещают во входном и выходном выравнивающих устройствах на соответствующем расстоянии от увеличительной оптики, чтобы фокус был расположен на плоскости сканирующего детектора. Для правильной фокусировки допускается использовать критерий максимальной контрастности.

С.2.2 Сканируют увеличенную диаграмму в ближнем поле путем перемещения сканируемого волокна и регистрации детектированной интенсивности как функции зависимости от положения волокна или обрабатывают диаграмму в ближнем поле с помощью видеоанализатора в зависимости от вида сканирования (механическое или электронное).

С.2.3 Определяют значение ДМП по диаграмме интенсивности в ближнем поле $f^2(r)$, отображенной на выходной поверхности волокна, учитывая увеличение и фактическую радиальную координату r в соответствии с С.3.

С.2.4 Периодически измеряют увеличение увеличивающей оптики совместно со сканирующей системой. Проводят первоначальную калибровку, используя соответствующие калибровочные решетки, и затем периодически проверяют ее путем сканирования изображения торцевой поверхности волокна, размеры которой известны с достаточной точностью.

С.3 Расчеты

С.3.1 Расчет центра масс

Для указанной площади поперечного сечения испытательной диаграммы в ближнем поле, т.е. для максимальной протяженности диаграммы, рассчитывают положение центра масс по формуле

$$r_c = \frac{\sum r_i f^2(r_i)}{\sum f^2(r_i)}, \qquad (С.1)$$

где r_c – положение центра масс;

r_i – значения координаты положения;

$f^2(r_i)$ – значения интенсивности.

С.3.2 Свертка профиля интенсивности

Изменяют индекс данных положения и интенсивности вокруг положения центра масс из уравнения (С.1) так, чтобы данные с положением выше центра масс имели значения индекса больше нуля, а данные с положением ниже центра масс имели значения индекса меньше нуля. Максимальный индекс обозначают *n*. Свернутый профиль распределения показателя преломления определяют по формуле

$$f_f^2(r_i) = \left[\frac{f^2(r_i) + f^2(r_{-i})}{2}\right], \quad \text{(С.2)}$$

где $f_f^2(r_i)$ – свернутое значение интенсивности;

$f^2(r_i)$ – значения интенсивности.

С.3.3 Расчет интегралов

Используют соответствующую методику числового интегрирования для расчета интеграла уравнения (7). Ниже приведен пример. Применение любого другого метода интегрирования должно обеспечивать не меньшую точность расчетов.

Рассчитывают верхний и нижний интегралы уравнения (7) по следующим формулам:

$$T = \sum_0^n r_i \, f_f^2(r_i) \, dr \ , \quad \text{(С.3)}$$

где T – верхний интеграл уравнения (3);

r_i – значения координаты положения;

$f_f^2(r_i)$ – свернутые профили интенсивности;

$$B = \sum_0^n r_i \left[\frac{df_f(r_i)}{dr}\right] dr, \quad \text{(С.4)}$$

где B – нижний интеграл уравнения (3);

$df_f(r_i) = f_f(r_i) - f_f(r_{i-1})$ для $i > 0$, или 0 для $i = 0$;

$dr = (r_1 - r_0)$.

Примечание – Данные могут быть представлены подобранной кривой для расчета производной.

С.3.4 Завершающий этап расчетов

$$\text{ДМП} = 2W_0 = 2\sqrt{\frac{2T}{B}} \ , \quad \text{(С.5)}$$

где $2W_0$ – ДМП, мкм;

T – определяют в соответствии с формулой (С.3);

B – определяют в соответствии с формулой (С.4).

Приложение D
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу D. Измерение диаметра модового поля с использованием рефлектометра оптической временной области

В данном методе приведен расчет ДМП на концах волокна с использованием результатов измерений двунаправленного обратного рассеяния от рефлектометра оптической временной области (РОВО).

Измерение проводят путем сравнения с эталонным пигтейлом волокна с известным значением ДМП на его концах. Это эталонное волокно должно иметь одинаковую одномодовую конструкцию с испытуемым волокном, например волокно категории В1 с соответствующей оболочкой. Может иногда быть использована эмпирическая отображающая функция для определения характеристик волокна одной конструкции с эталонным волокном другой конструкции. Данная отображающая функция специфична для конструкций этой пары волокон.

Измерение ограничено ДМП комбинации эталон-образец, так как рефлектометры оптической временной области имеют нелинейные характеристики. Данный отличительный признак часто указывают производители инструментов. Несмотря на то, что типовые значения, указываемые в подробной спецификации на волокно, достаточны для измерений коэффициента затухания, они не совсем точны для определения ДМП по всей длине волокна. Для измерения ДМП требуется определить линии двунаправленного обратного рассеяния.

Данный метод наиболее часто используют при производстве, там где конструкция волокна хорошо известна. Метод используют при разрешении спорных ситуаций. Рекомендуется проводить периодическую проверку правильности результатов, полученных с помощью данного метода.

D.1 Оборудование

D.1.1 РОВО

Данное оборудование описано в методе С – методе обратного рассеяния по МЭК 60793-1-40. Действительные значения центральной длины волны РОВО должны быть известны с точностью до 2 нм для достижения лучших результатов. Погрешность в 2,5 нм приведет к погрешности 0,025 мкм при определении ДМП при измерениях в областях длин волн 1310 и 1550 нм.

D.1.2 Вспомогательные переключатели (по выбору)

Разные схемы оптических переключателей могут быть использованы для повышения эффективности данного метода. На рисунке D.1 показан пример, в котором РОВО на лазерах, работающих на двух длинах волн, используют для измерений двунаправленного обратного рассеяния. Использование двух эталонных волокон позволяет определить характеристики обоих концов испытуемого волокна.

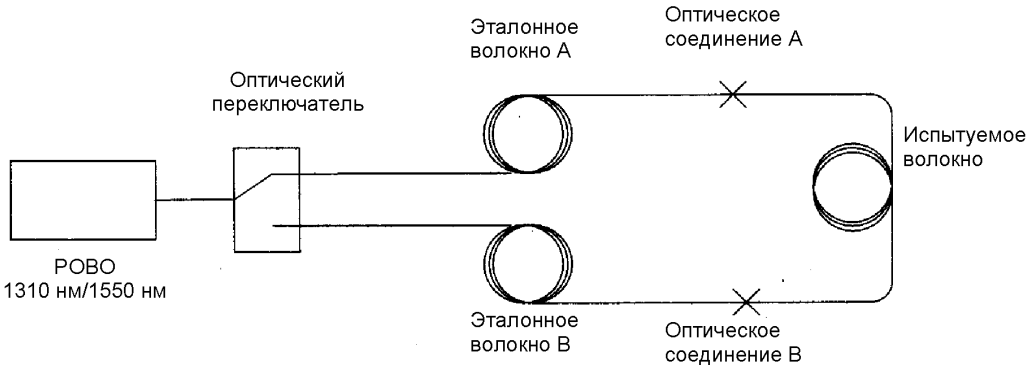

Рисунок D.1 – Расположение оптического переключателя

Примечание – Оптические соединения, показанные на рисунке D.1, могут представлять собой соединения встык. Оптические соединения должны быть стабильными во время проведения измерения.

D.1.3 Компьютер (по выбору)

Для оценки потерь в оптических соединениях рекомендуется использовать компьютер.

D.1.4 Испытуемый образец

Образец, представляющий собой одномодовое волокно класса B, намотанный на катушку или находящийся в составе кабеля, имеющий длину, достаточную для превышения длины компенсирующей катушки РОВО, или расположенный позади компенсирующей катушки, у которого оба конца доступны для проведения измерений, как указано в МЭК 60793-1-40.

D.1.5 Эталонный образец

Используют одномодовое волокно, у которого измеряют ДМП для одного или более значения длины волны. Могут быть использованы два эталонных волокна, по одному на каждый конец образца.

Эталонное волокно, как правило, имеет ту же конструкцию, что и испытуемое волокно, и длину, достаточную для превышения длины компенсирующей катушки РОВО. Если эталонное волокно имеет конструкцию, отличную от конструкции испытуемого волокна, используют отображающую функцию для значений, полученных с помощью данного метода, и значений, полученных с помощью основного метода.

D.2 Проведение испытания

D.2.1 Ориентация и обозначения

В данном методе указывают характеристики позиции A на рисунке D.1. Обозначения могут быть преобразованы для определения характеристик позиции B. Потери вследствие обратного рассеяния в поперечном сечении позиции A измеряют путем ввода света от источников с одним или более значением длины волны в оба эталонных волокна A и B.

Для данной процедуры используют следующие обозначения:

λ_j – конкретное значение длины волны;

RFA – эталонное волокно A;

RFB – эталонное волокно B;

$L_A(\lambda_j)$ – потери в поперечном сечении оптического соединения A при вводе излучения с длиной волны λ_j через RFA;

$L_B(\lambda_j)$ – потери в поперечном сечении оптического соединения A (поправка Cor 1:2002) при вводе излучения с длиной волны λ_j через RFB;

$W_A(\lambda_j)$ – измеренное значение ДМП при λ_j на конце RFA;

$W_S(\lambda_j)$ – значение ДМП при λ_j, полученное с использованием данного метода для образца.

На рисунках D.2 и D.3 показаны значения потерь для двух графиков обратного рассеяния.

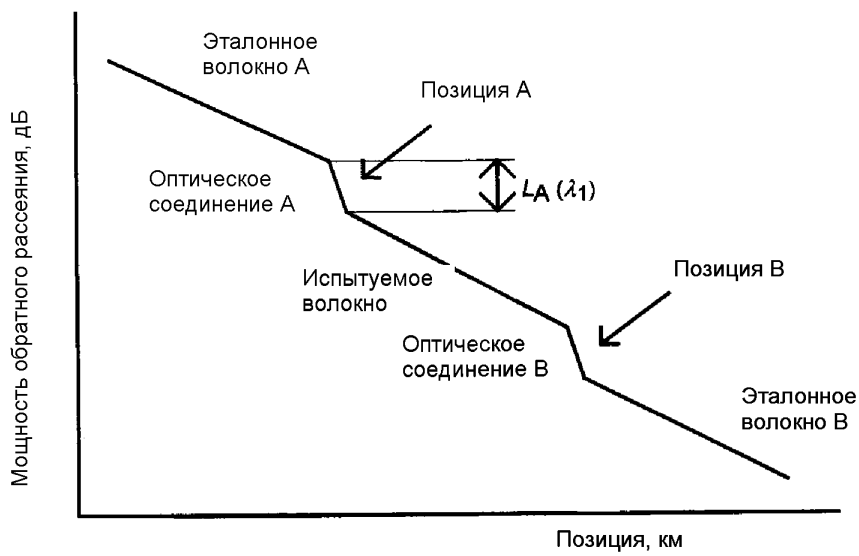

Рисунок D.2 – График обратного рассеяния для эталонного волокна A

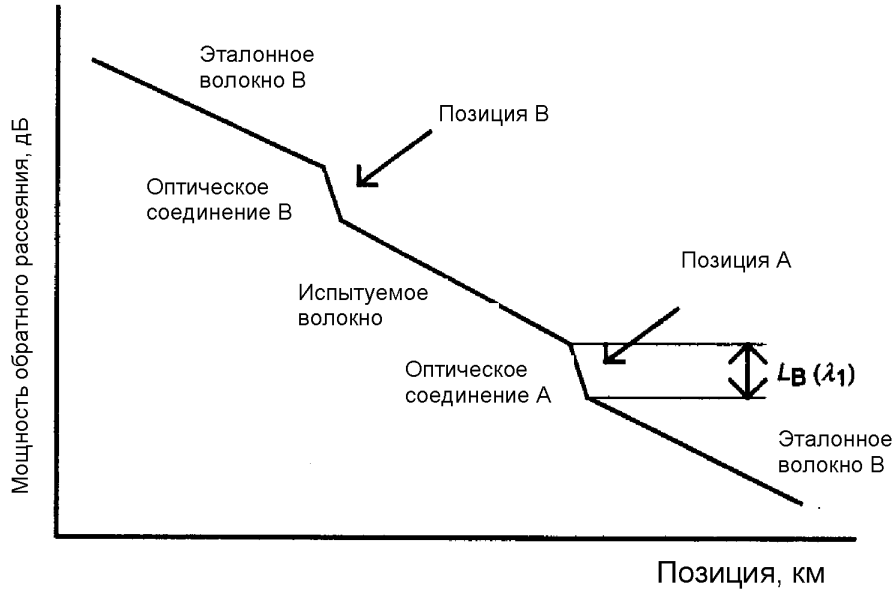

Рисунок D.3 – График обратного рассеяния для эталонного волокна В

D.2.2 Потери в поперечном сечении оптического соединения А измеряют в соответствии с С.3.6 МЭК 60793-1-40 при вводе света с λ_1 из RFA. Результат регистрируют как $L_A(\lambda_1)$. Потери в поперечном сечении оптического соединения А (поправка Cor 1:2002) измеряют в соответствии с С.3.6 МЭК 60793-1-40 при вводе света с λ_1 из RFB. Результат регистрируют как $L_B(\lambda_1)$.

D.3 Расчеты

D.3.1 ДМП эталонного волокна

ДМП эталонного волокна А измеряют для каждого заданного значения длины волны.

D.3.2 Расчет ДМП образца

Для каждого заданного значения длины волны λ_j разности между графиками потерь для RFA и RFB рассчитывают по формуле

$$\Delta L(\lambda_j) = L_A(\lambda_j) - L_B(\lambda_j). \quad (D.1)$$

ДМП образца при λ_j рассчитывают по формуле

$$W_S(\lambda_j) = W_A(\lambda_j)\,10^{[g_j \Delta L(\lambda_j)+f_j]/20}. \quad (D.2)$$

(Поправка Cor 1:2002).

Использование параметров g_j и f_j позволяет получить более точные результаты. Для изделия заданной конструкции значения g_j и f_j, которые повышают точность вычислений, могут быть определены экспериментальным путем. В качестве альтернативы g_j и f_j могут быть присвоены значения 1 и 0 соответственно.

D.3.3 Проверка достоверности результатов измерений

На рисунке D.4 представлен график проверки достоверности результатов измерений.

На образце, представляющем семейство волокон конкретной конструкции, проводят измерения с использованием основного метода и данного метода. Образец должен охватывать широкий диапазон значений ДМП и значений волны отсечки.

Значения, полученные в соответствии с данным методом, нанесены на график вместе с данными, полученными в соответствии с основным методом, для демонстрации почти линейного соотношения между ними. Тангенс угла наклона линии должен быть близким к единице и точка пересечения должна быть близка к нулю. Наилучшим испытанием для графиков, тангенс угла наклона линии которых не равен единице, считают установление соотношения между парными разностями и парными суммами. Если корреляция незначительная, то тангенс угла наклона незначительно отличается от 1. Наклон или ненулевая точка пересечения приведены ниже.

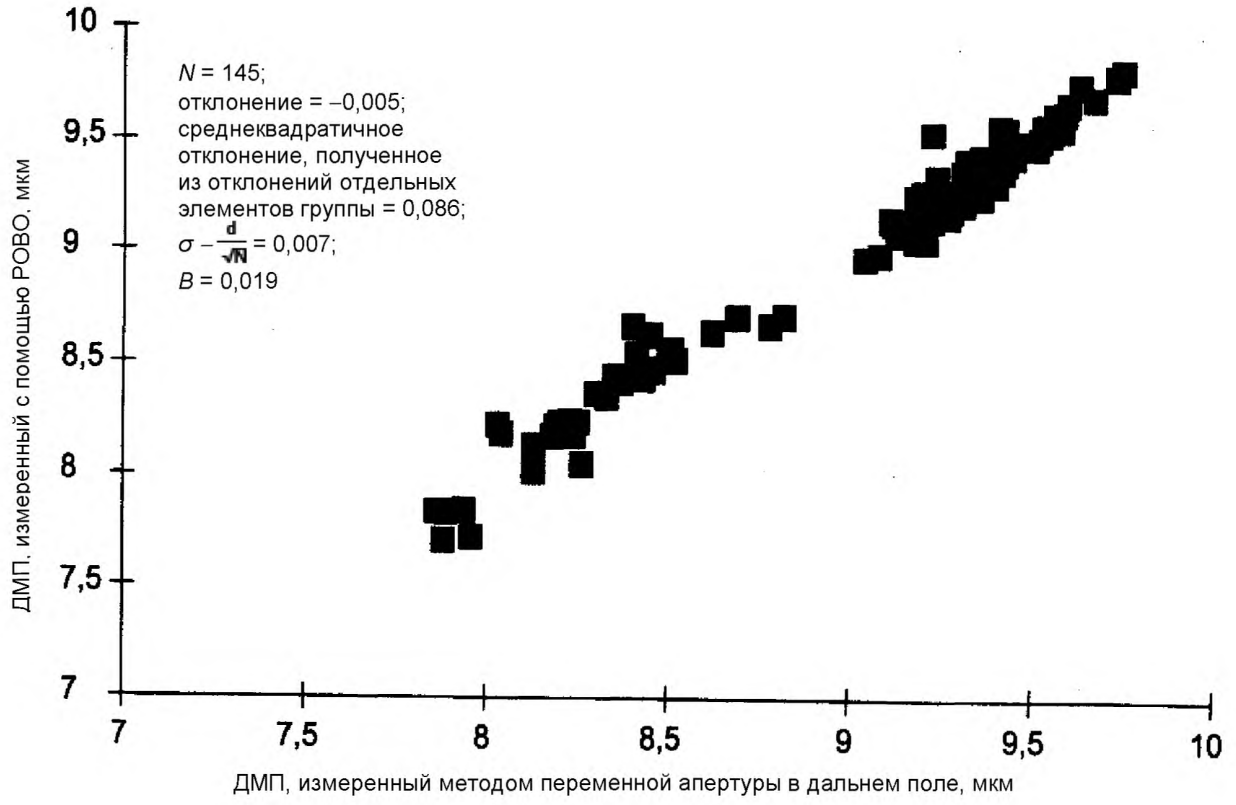

Рисунок D.4 – Пример проверки достоверности результатов измерений. Сравнение методов

Парную разность d_i между значениями, полученными при использовании данного метода и основных методов, рассчитывают для каждого образца, изменяя индекс i в диапазоне от 1 до N. Рассчитывают гистограмму, образуемую из этих парных разностей, среднего значения $\bar{d}$ и стандартного отклонения σ_d этих разностей. Эмпирическую точность выражают формулой

$$B = \left|\bar{d}\right| + 2\frac{\sigma_d}{\sqrt{N}}, \qquad \text{D(3)}$$

Примечание – Если значение B слишком велико, т.е. больше ожидаемого значения между двумя инструментами, использующими другие методы, отличные от указанных в настоящем стандарте, рекомендуется провести уточнение уравнений или процедуры измерений. Типовое максимальное значение B равно 0,1 мкм.

Приложение Е
(справочное)

Наборы данных об образце и рассчитанные значения

В следующих таблицах представлены данные об образце и рассчитанные значения, полученные в приложениях А, В и С соответственно.

Е.1 Метод А. Измерение ДМП методом прямого сканирования в дальнем поле

Т а б л и ц а Е.1 – Набор данных об образце. Метод А. Измерение ДМП методом прямого сканирования в дальнем поле

Угол	Свернутая мощность	Угол	Свернутая мощность
0,000°	1,00000	9,405°	0,04847
0,495°	0,98626	9,900°	0,03911
0,990°	0,94469	10,395°	0,03155
1,485°	0,88128	10,890°	0,02558
1,980°	0,80291	11,385°	0,02059
2,475°	0,71344	11,880°	0,01659
2,970°	0,62116	12,375°	0,01335
3,465°	0,53303	12,870°	0,01077
3,960°	0,45202	13,365°	0,00865
4,455°	0,37806	13,860°	0,00697
4,950°	0,31373	14,355°	0,00559
5,445°	0,25848	14,850°	0,00447
5,940°	0,21116	15,345°	0,00356
6,435°	0,17170	15,840°	0,00283
6,930°	0,13950	16,335°	0,00224
7,425°	0,11330	16,830°	0,00179
7,920°	0,09199	17,325°	0,00145
8,415°	0,07447	17,820°	0,00113
8,910°	0,06009	18,315°	0,00087

Е.2 Метод В. Измерение ДМП методом переменной апертуры в дальнем поле

Особенности метода расчета могут привести к расхождениям значений рассчитываемого значения в пределах 0,01 мкм.

Т а б л и ц а Е.2 – Набор данных об образце. Метод В. Измерение ДМП методом переменной апертуры в дальнем поле

θ_i	Мощность	θ_i	Мощность
1,273°	0,08572	10,367°	0,70823
2,201°	0,20864	11,172°	0,71450
2,930°	0,31250	11,944°	0,71971
3,820°	0,42322	13,216°	0,72510
4,631°	0,50908	14,879°	0,72971
5,403°	0,56777	16,671°	0,73306
6,271°	0,61360	18,275°	0,73474
7,107°	0,64690	20,042°	0,73582
7,776°	0,66785	21,788°	0,73584
8,663°	0,68643	23,478°	0,73616
9,558°	0,69963	–	–
Длина волны: 1300 нм. Рассчитанное значение ДМП: 8,163 мкм.			

Е.3 Метод С. Измерение ДМП методом сканирования в ближнем поле

Т а б л и ц а Е.3 – Набор данных об образце. Метод С. Измерение ДМП методом сканирования в ближнем поле

r, мкм	$f^2(r) / I(0)$	r, мкм	$f^2(r) / I(0)$
0,000	1,00000	10,817	0,00197
1,082	0,89027	11,899	0,00088
2,163	0,63561	12,981	0,00036
3,245	0,35031	14,063	0,00015
4,327	0,16687	15,144	0,00006
5,409	0,07826	16,226	0,00002
6,490	0,03735	17,308	0,00000
7,572	0,01752	18,389	0,00000
8,654	0,00872	19,471	0,00000
9,736	0,00433	20,553	0,00000
Длина волны: 1300 нм. Рассчитанное значение ДМП: 10,76 мкм.			

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60793-1-40	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-40–2012 «Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание»
МЭК 60793-2:1998	–	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в ОАО «ВНИИКП».

П р и м е ч а н и е – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.

УДК 681.7.068:006.354 ОКС 33.180.10 Э59 ОКП 63 6570

Ключевые слова: волокна оптические, диаметр модового поля, испытательное оборудование, методы испытаний, обработка результатов

Подписано в печать 01.04.2014. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 2,79. Тираж 31 экз. Зак. 1603

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru