ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-40— 2012

Волокна оптические

Часть 1-40

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ. ЗАТУХАНИЕ

IEC 60793-1-40:2001
Optical fibres — Part 1-40: Measurement methods and test procedures — Attenuation
(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 18 сентября 2012 г. № 342-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-40:2001 «Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание» (IEC 60793-1-40:2001 «Optical fibres — Part 1-40: Measurement methods and test procedures — Attenuation»).

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 ежемесячного 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 воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Требования к калибровке . . . 2
5 Эталонный метод испытаний . . . 2
6 Оборудование . . . 2
7 Отбор образцов . . . 3
7.1 Длина образца . . . 3
7.2 Торцевая поверхность образца . . . 3
8 Порядок проведения испытаний . . . 3
9 Расчеты . . . 3
9.1 Методы A и B . . . 3
9.2 Метод C . . . 3
9.3 Метод D . . . 3
10 Результаты . . . 3
10.1 Информация, получаемая при каждом измерении . . . 3
10.2 Информация, предоставляемая по требованию . . . 3
11 Информация, указываемая в подробной спецификации на волокно/кабель . . . 4
Приложение A (обязательное) Требования, относящиеся к методу A. Обрыв . . . 5
Приложение B (обязательное) Требования, относящиеся к методу B. Вносимые потери . . . 10
Приложение C (обязательное) Требования, относящиеся к методу C. Обратное рассеяние . . . 12
Приложение D (обязательное) Требования, относящиеся к методу D. Моделирование спектрального затухания . . . 18
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 20

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Волокна оптические

Часть 1-40

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ. ЗАТУХАНИЕ

Optical fibres. Part 1-40. Measurement methods and test procedures. Attenuation

Дата введения — 2013 — 07— 01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает единые требования к измерению затухания сигнала в оптическом волокне (далее — волокно), обеспечивая проверку соответствия волокон и кабелей целям коммерческого использования.

В настоящем стандарте приведены четыре метода для измерения затухания, один из которых предназначен для моделирования спектрального затухания:

- метод А: метод обрыва;
- метод В: метод вносимых потерь;
- метод С: метод обратного рассеяния;
- метод D: метод моделирования спектрального затухания.

Методы А, В и С применяют для измерения затухания всех типов следующих волокон:

- многомодовых волокон класса А;
- одномодовых волокон класса В.

Методом обратного рассеяния С также определяют распределение, вносимые потери и характеристики точечных дефектов.

В настоящее время метод D применяют только для волокон класса В.

Общая информация для всех трех методов измерений и для метода моделирования содержится в разделах 1—8, а информация, относящаяся к каждому индивидуальному методу, содержится в приложениях А, В, С и D соответственно.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты[1)]:

МЭК 60793-1-22 Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины (IEC 60793-1-22, Optical fibres — Part 1-22: Measurement methods and test procedures — Length measurement)

МЭК 60793-1-43 Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура (IEC 60793-1-43, Optical fibres — Part 1-43: Measurement methods and test procedures — Numerical aperture)

[1)] Следует применять последние издания указанных стандартов, включая все последующие изменения.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

Примечание — Затухание — это степень уменьшения оптической мощности в волокне при определенной длине волны. Оно зависит от природы и длины волокна, а также от условий измерений.

Неуправляемые условия возбуждения обычно приводят к возникновению поглощающих мод более высокого порядка, что порождает переходные потери и приводит к затуханию, не пропорциональному длине волокна. Применение управляемого, стабильного возбуждения приводит к затуханию, которое пропорционально длине волокна. При условии стабильного возбуждения можно определить коэффициент затухания волокна и затухание линейно соединенных волокон.

3.1 **затухание** (attenuation): Затухание волокна при длине волны λ между двумя поперечными сечениями 1 и 2, разделенными расстоянием, определяемое как

$$A(\lambda) = |10\lg\frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)}|, \quad (1)$$

где $A(\lambda)$ — затухание при длине волны λ, дБ;

$P_1(\lambda)$ — оптическая мощность, проходящая через поперечное сечение 1;

$P_2(\lambda)$ — оптическая мощность, проходящая через поперечное сечение 2.

3.2 **коэффициент затухания** (attenuation coefficient), **затухание на единицу длины** (attenuation per unit length): Для однородного волокна при условии стабильного возбуждения возможно определить затухание на единицу длины или коэффициент затухания в виде следующего соотношения, которое не зависит от выбранного отрезка волокна:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L}, \quad (2)$$

где $\alpha(\lambda)$ — коэффициент затухания;

L — длина, км.

3.3 **моделирование спектрального затухания** (spectral attenuation modeling): Методика, позволяющая прогнозировать значения коэффициентов затухания для спектра длин волн, используя небольшое число (три — пять) непосредственно измеряемых дискретных значений.

3.4 **точечные дефекты** (point discontinuities): Временные или постоянные локальные колебания вверх и вниз непрерывного сигнала оптического рефлектометра во временной области (ОРВО) в направлении вверх и вниз.

Примечание — Природа колебаний может изменяться в зависимости от условий испытаний (например, длительности импульса, длины волны, направления сигнала ОРВО). Хотя точечный дефект может иметь длину бóльшую, чем соответствующая отображенная длительность импульса (включая эффекты передатчика и приемника), эта длина обычно почти равна длительности импульса. Для правильного истолкования результатов при измерении длины точечного дефекта необходимо следовать указаниям МЭК 60793-1-22.

4 Требования к калибровке

В стадии рассмотрения.

5 Эталонный метод испытаний

Метод обрыва А является эталонным методом испытаний (ЭМИ) и должен использоваться при разрешении спорных вопросов.

6 Оборудование

В приложениях А, В, С и D приведены схематичные рисунки и другие требования для каждого из методов соответственно.

7 Отбор образцов

7.1 Длина образца

Образец должен представлять собой отрезок волокна известной длины на катушке или в составе кабеля, как указано в подробной спецификации на волокно/кабель.

7.2 Торцевая поверхность образца

Должна быть подготовлена плоская торцевая поверхность, перпендикулярная оси волокна, на входном и выходном концах каждого образца.

8 Порядок проведения испытаний

См. приложения A, B, C и D для методов A, B, C и D соответственно.

9 Расчеты

9.1 Методы A и B

В методах обрыва A и вносимых потерь B соответственно используют уравнения (1) и (2).

9.2 Метод C

См. приложение C.

9.3 Метод D

См. приложение D.

10 Результаты

10.1 Информация, получаемая при каждом измерении

Отчет по каждому измерению должен содержать следующую информацию:
- дата и наименование измерения;
- обозначение образца;
- длина волны источника оптического излучения;
- длина образца;
- спектральное затухание, дБ, или коэффициент затухания, дБ/км, в зависимости от длины волны или при определенной длине волны, как указано в подробной спецификации на волокно/кабель.

10.2 Информация, предоставляемая по требованию

По требованию предоставляется следующая информация:
- используемый метод измерений: A, B, C или D;
- тип используемого источника оптического излучения: центральная длина волны (длины волн) и ширина спектра (спектров);
- способ ввода излучения и используемые условия;
- описание всех основных элементов оборудования;
- для волокон класса B — размеры и число оборотов модового фильтра или смесителя мод;
- длительность импульса (импульсов), диапазон шкалы (шкал) и подробное описание операции усреднения сигнала;
- подробное описание способа проведения расчетов (метод расчета);
- любые допущенные отклонения от установленной методики проведения измерений;
- дата последней калибровки измерительного оборудования.

Для методов C и D дополнительные требования — в разделах C.5 приложения C и D.5 приложения D соответственно. Учет этих требований особенно важен при использовании метода C для измерения точечных дефектов.

11 Информация, указываемая в подробной спецификации на волокно/кабель

Подробная спецификация на волокно/кабель должна содержать следующую информацию:
- тип измеряемого волокна (или кабеля);
- критерии приемки и отбраковки для определенной длины волны или диапазона длин волн;
- любое отклонение от установленного порядка проведения измерений;
- информация, предоставляемая в отчете.

Приложение А
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу А. Обрыв

Метод обрыва является единственным методом, непосредственно вытекающим из определения затухания в волокне, при котором уровни мощности $P_1(\lambda)$ и $P_2(\lambda)$ измеряют в двух точках волокна без изменения условий ввода излучения. $P_2(\lambda)$ — мощность, получаемая на выходе волокна, и $P_1(\lambda)$ — мощность, получаемая в точке около входа этого же волокна после отрезания волокна. (Это объясняет широкое использование данного метода как эталонного метода испытания на затухание сигнала.)

Данный метод измерений не позволяет получить информацию о поведении затухания по длине волокна. Также нелегко измерить изменение затухания в изменяющихся условиях. В некоторых случаях разрушение оптического волокна, составляющее сущность данного метода, является его недостатком.

А.1 Оборудование

А.1.1 Общее оборудование для всех волокон

На рисунках А.1 и А.2 приведены схемы рекомендуемого размещения испытательного оборудования.

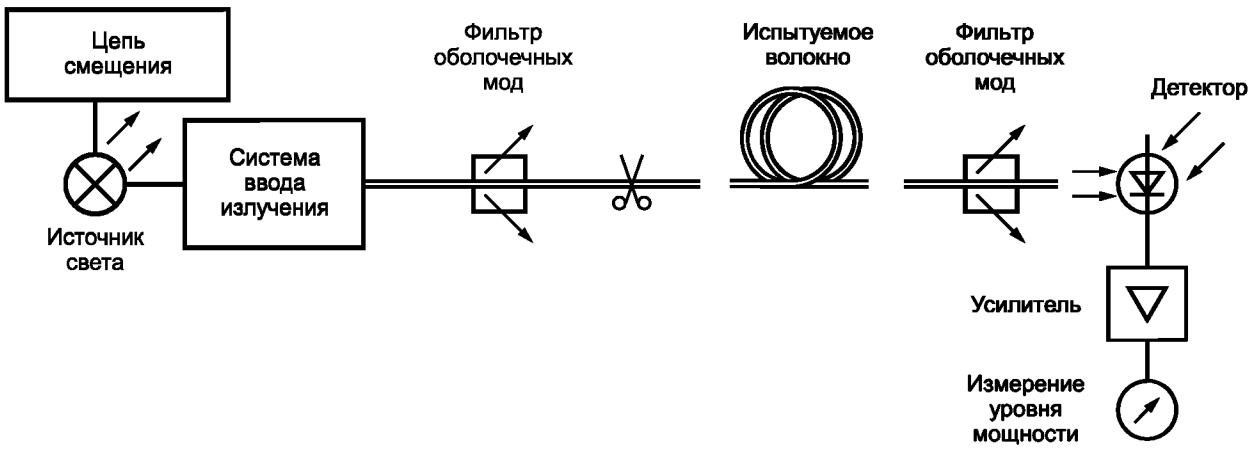

Рисунок А.1 — Расположение оборудования, используемого при измерении потерь для одной определенной длины волны

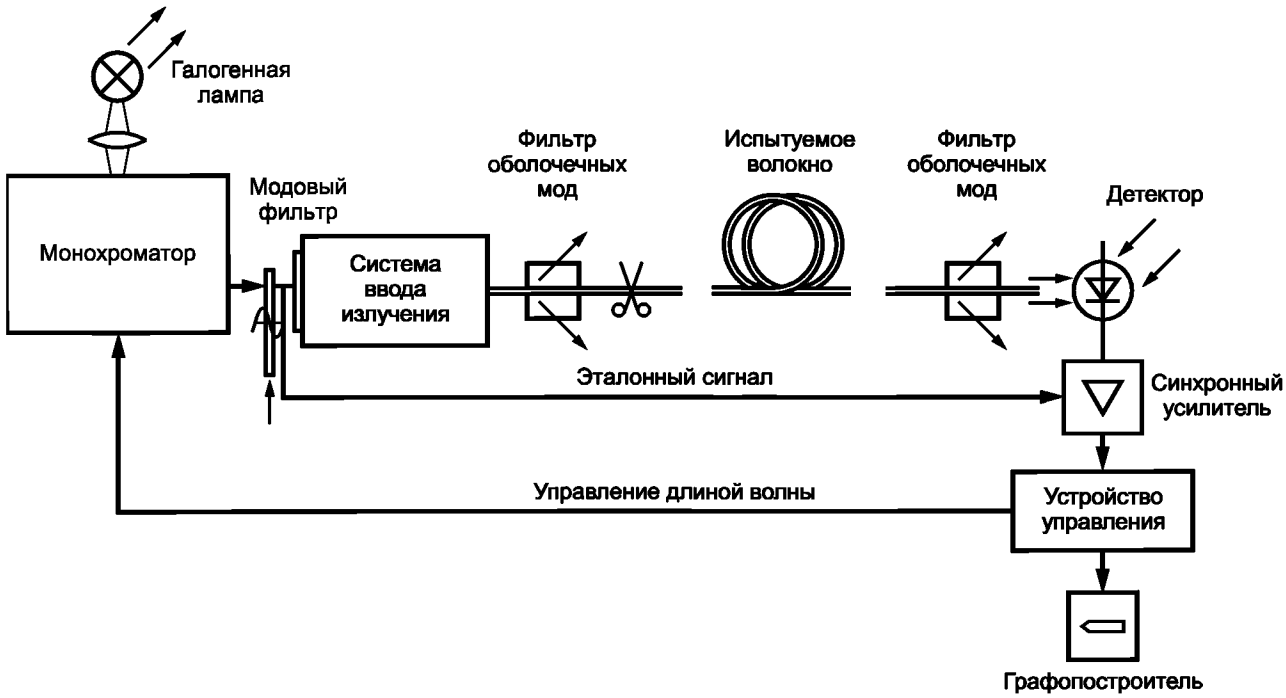

Рисунок А.2 — Расположение оборудования, используемого для получения спектра потерь

А.1.1.1 Общая схема ввода излучения

На рисунке А.3 приведена общая схема ввода излучения, используемая для всех волокон. В А.1.2 — А.1.4 содержится подробная информация по применению данной схемы для отдельных категорий одномодовых и многомодовых волокон.

А.1.1.2 Источник оптического излучения

Используют соответствующий источник излучения, такой как лампа, лазер или светодиод. Выбор источника зависит от типа измерений. Источник должен быть устойчиво расположен, излучать с требуемыми интенсивностью и длиной волны в течение времени, достаточного для проведения измерений. Ширину спектральной линии выбирают так (на уровне 50 % интенсивности излучения используемых источников), чтобы эта линия была узкой (к примеру, менее 10 нм), сравнимой со спектральной кривой затухания волокна. Волокно располагают на одной оси с конусом ввода излучения или соединяют его соосно с возбуждающим волокном.

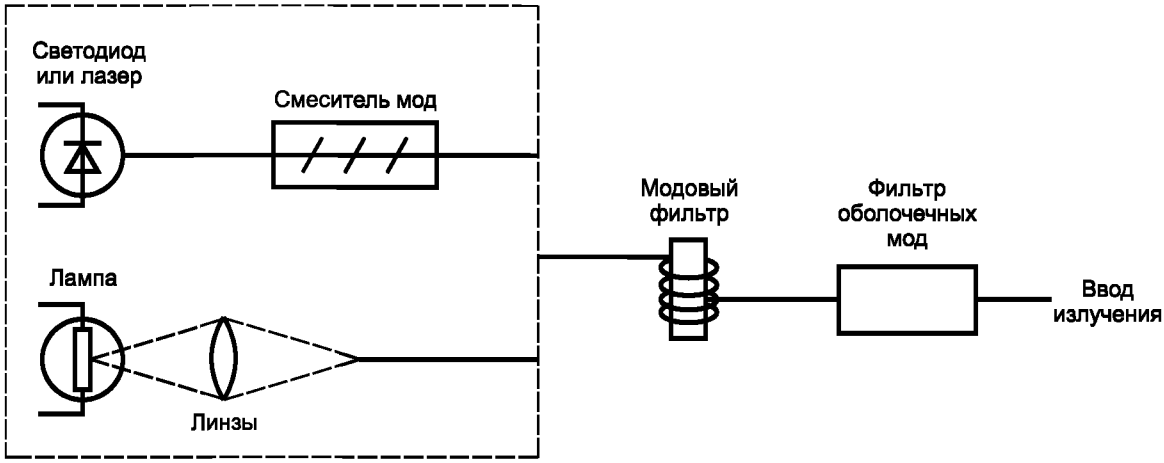

Рисунок А.3 — Общая схема ввода излучения

А.1.1.3 Длина волны излучения источника

Измерения могут проводиться на одной или более длинах волн. С другой стороны, спектральный отклик может потребоваться по диапазону длин волн.

А.1.1.4 Блок приема оптического сигнала

Следует добиться, чтобы вся излучаемая образцом мощность передавалась на активную область детектора. Например, могут использоваться системы линз, сращивание торцевой поверхности с гибким выводом волокна или непосредственное соединение с детектором. Если детектор уже имеет оптоволоконный вывод (пигтейл), то волокно пигтейла должно иметь достаточно большой диаметр сердцевины и числовую апертуру для захвата всего светового излучения, выходящего из эталонного волокна и испытуемого отрезка волокна.

При проведении данного измерения следует использовать оптический детектор, который линеен и стабилен по всему диапазону интенсивности и времени измерения. Типичная система может включать фотоэлектрический модовый фотодиод, сигнал с которого усиливается усилителем входного тока с синхронной регистрацией сигнала синхронным усилителем.

А.1.1.5 Обработка сигнала

Обычно модулируют источник света для улучшения соотношения сигнал — шум в приемнике. В этом случае соединяют детектор с системой обработки сигнала синхронно с частотой модуляции источника. Система детектирования сигнала должна быть в основном линейной или иметь заранее известные характеристики.

А.1.1.6 Фильтр оболочечных мод

Используют соответствующий способ для недопущения распространения оптической мощности в оболочке, что может значительно повлиять на принятый сигнал.

А.1.2 Оборудование для ввода излучения для всех одномодовых волокон

Система оптических линз или гибкий вывод волокна (пигтейл) могут использоваться для возбуждения испытуемого волокна. Мощность, передаваемая в волокно, должна быть стабильной во время проведения измерения (рисунок А.1).

А.1.2.1 Гибкий вывод волокна (пигтейл)

При использовании гибкого вывода волокна (пигтейла) может возникнуть необходимость применения геля для компенсации потерь отражения в волокне между гибким выводом источника и испытуемым волокном для исключения эффекта интерференции.

А.1.2.2 Система оптических линз

При использовании системы оптических линз обеспечивают стабильную поддержку входного конца волокна, например с помощью вакуумного держателя. Данную поддержку устанавливают на позиционирующее устрой-

ство таким образом, чтобы торец волокна помещался во входящий луч. Перегрузка конца волокна пространственно и под углом позволяет сделать процесс позиционирования волокна менее чувствительным.

А.1.2.3 Фильтр мод высокого порядка

Данный метод используют для исключения распространяющихся мод высокого порядка в заданном диапазоне длин волн. Примером такого фильтра мод высокого порядка является петля радиусом, достаточно малым для сдвига критической длины волны ниже минимальной заданной длины волны, но недостаточно малым для возбуждения колебаний, зависящих от длины волны.

А.1.2.4 Фильтр оболочечных мод

Фильтр оболочечных мод обеспечивает необнаружение излучаемых мод, распространяющихся в области оболочки, в волокне после прохождения небольшого расстояния. Фильтр оболочечных мод часто состоит из материала, имеющего показатель преломления, равный или больший показателя преломления материала оболочки волокна. Это может быть жидкость для компенсации потерь отражения в волокне, нанесенная непосредственно на непокрытое волокно вблизи его концов; при некоторых условиях само покрытие волокна будет выполнять эту функцию.

А.1.3 Оборудование для возбуждения градиентных многомодовых волокон категории А1

Условия возбуждения имеют наибольшее значение для достижения целей, указанных в разделе 1. Условия возбуждения устанавливают так, чтобы не допустить мощности вводимого излучения, приводящей к возникновению переходных мод более высокого порядка. Не вводя мощность возбуждения в эти переходные моды испытуемого волокна, измеряют затухание, наращиваемое приблизительно по линейному закону. Так как на это распределение мощности волокно в основном не влияет, оно называется «устойчивое распределение».

Существует две общепринятые методики создания устойчивых условий возбуждения для измерения затухания: модовые фильтры и ввод излучения с помощью геометрической оптики. Точное соблюдение указанных технических приемов дает сравнимые результаты. На рисунке А.1 приведен обобщенный пример оборудования для ввода излучения с использованием модового фильтра. Примеры каждой из двух методик приведены ниже.

А.1.3.1 Примеры модовых фильтров

А.1.3.1.1 Модовый фильтр с типовым (эталонным) волокном

Выбирают волокно того же типа, что и испытуемое волокно. Волокно должно иметь длину (обычно равную или бóльшую 1 км), достаточную для того, чтобы распределение мощности в волокне при использовании источника, указанного в А.1.3.3, являлось устойчивым распределением.

А.1.3.1.2 Модовый фильтр в виде оправки с намотанным на нее волокном

Другой модовый фильтр имеет оправку, вокруг которой намотано несколько витков (обычно три — пять) испытуемого отрезка волокна при небольшом натяжении. Выбирают такой диаметр оправки, чтобы обеспечивалось затухание возбуждаемых переходных мод до устойчивого состояния. Используют измерение дальнего поля для сравнения распределения мощности, существующей в длинном отрезке испытуемого волокна (более 1 км), которое возбуждается однородно перегружающим источником, с распределением мощности в коротком отрезке волокна с применением оправки. Следует выбрать диаметр оправки для проведения распределения дальнего поля в коротком отрезке для аппроксимации распределения дальнего поля в длинном отрезке.

Числовая апертура (измеренная согласно МЭК 60793-1-43) диаграммы излучения, возбуждающего короткий отрезок, должна составлять от 94 % до 100 % включительно числовой апертуры диаграммы длинного отрезка.

Диаметр оправки для разных волокон может быть разным в зависимости от типа волокна и покрытия. Рекомендуемый диаметр оправки — в диапазоне от 15 до 40 мм включительно с пятью витками волокна в пределах длины оправки 20 мм. Поскольку оправка может выбираться различного диаметра и устройства, в таблице А.1 приведены общепринятые размеры оправки для волокон с различным диаметром сердцевины.

Таблица А.1 — Примеры размеров оправки В микрометрах

Диаметр сердцевины	Диаметр оправки
50	25
62,5	20
100	25

А.1.3.2 Примеры ввода излучения с помощью геометрической оптики

Возбуждение с помощью ограниченного фазового пространства (ОФП) определяется как геометрически порождаемое возбуждение, которое равномерно заполняет 70 % диаметра сердечника испытуемого волокна и имеет 70 % числовой апертуры испытуемого волокна. Это распределение максимальной мощности, передаваемой геометрически, не передает мощность в моды утечки и непредельные моды. Для градиентных многомодовых волокон размерами 50/125 мкм с числовой апертурой 0,2 условие ОФП возбуждения — наличие однородного светового пятна диаметром 35 мкм и числовой апертуры 0,14.

Пример оптики, необходимой для ОФП возбуждения, приведен на рисунке А.4. Важно, чтобы ось луча ввода излучения совпадала с осью волокна, чтобы световое пятно и конус падающего света центрировались на сердце-

вине волокна. Также для проведения измерений соответствующим образом следует настроить оптическую систему на рабочую длину волны.

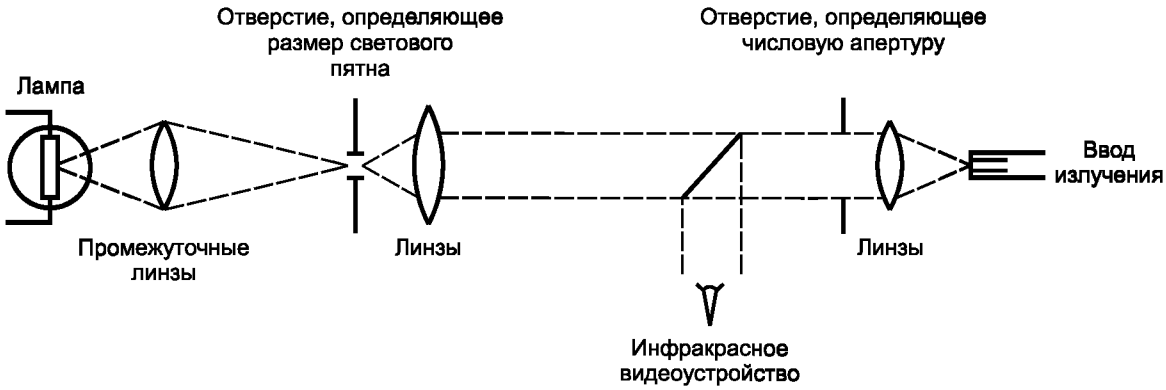

Рисунок А.4 — Оптическая система возбуждения с помощью ограниченного фазового пространства

А.1.3.3 Смеситель мод

В основном равномерное распределение мощности достигается до модового фильтра. Для таких источников, как светодиод или лазер, которые не позволяют этого достичь, используется смеситель мод. В смесителе мод волокно должно располагаться определенным образом (например, с последовательностью профиля показателя преломления ступенчатый — градиентный — ступенчатый).

А.1.4 Оборудование для возбуждения ступенчатых многомодовых волокон категорий А2 — А4

Некоторые примеры характерного расположения оборудования для возбуждения коротких волокон приведены на рисунках А.5, А.6 и А.7.

Важна воспроизводимость результатов измерения затухания в ступенчатых волокнах. Следовательно, необходимо иметь четкое описание схемы возбуждения. Такая схема может состоять из доступных оптических компонентов, обеспечивающих размеры светового пятна и числовую апертуру возбуждения в соответствии со значениями, приведенными в таблице А.2.

Таблица А.2 — Условия возбуждения для волокон категорий А2 — А4

Характеристика	Категория волокна		
	А2.2 (см. примечание 1) Стеклянная сердцевина / стеклянная оболочка	А3 Стеклянная сердцевина / пластмассовая оболочка	А4 Пластмассовая сердцевина / пластмассовая оболочка
Размер пятна	Равен размеру сердцевины волокна	Равен размеру сердцевины волокна	Равен размеру сердцевины волокна с полным возбуждением мод (или использование смесителя мод с равномерным возбуждением мод)
Числовая апертура	Равна максимальной числовой апертуре волокна (см. примечание 2)	Равна максимальной числовой апертуре волокна (см. примечание 3)	Равна максимальной числовой апертуре волокна с полным возбуждением мод (см. примечание 3)

Примечания

1 Волокно категории А 2.1 требует дальнейшего изучения.

2 Данное условие возбуждения можно выполнить путем переполнения модового фильтра, изготовленного из 2 м волокна, идентичного испытуемому волокну с соответствующим фильтром оболочечных мод, и использования выходного сигнала с этого модового фильтра для возбуждения испытуемого волокна.

3 Данное условие возбуждения можно выполнить аналогично изложенному в примечании 2. Однако некоторые типы волокон категорий А3 и А4 не потребуют фильтра оболочечных мод для модового фильтра.

А.1.5 Требования к калибровке

Длину волны калибруют в пределах ± 10 нм.

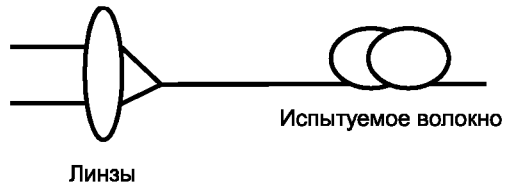

Рисунок А.5 — Система линз

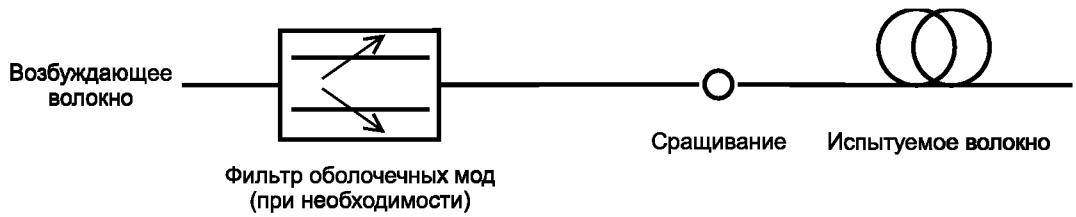

Рисунок А.6 — Возбуждающее волокно

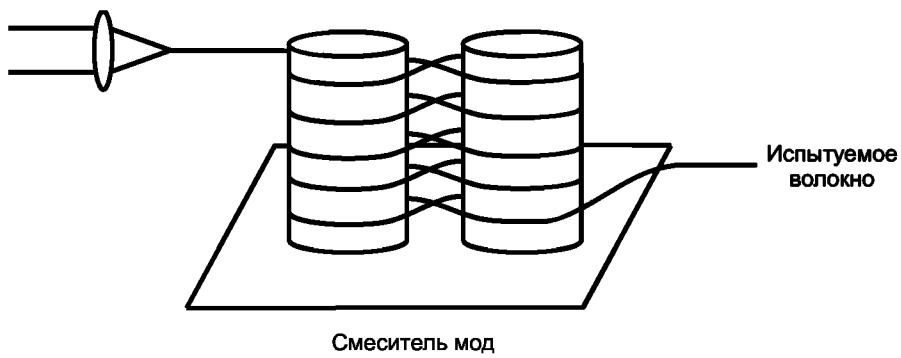

Рисунок А.7 — Смеситель мод (для волокна категории А4)

А.2 Порядок проведения измерений

А.2.1 Помещают испытуемое волокно в измерительную установку. Записывают выходную мощность $P_2(\lambda)$.

А.2.2 Сохраняя неизменными условия возбуждения, обрезают волокно недалеко от источника излучения (например, 2 м от точки возбуждения). Записывают выходную мощность $P_1(\lambda)$ на выходе оставшегося короткого отрезка.

А.3 Расчеты

А.3.1 Рассчитывают затухание между точками измерения $P_1(\lambda)$ и $P_2(\lambda)$, используя уравнение (1) в 3.1, или коэффициент затухания, используя уравнение (2) в 3.2, или оба эти параметра, если требуется.

А.3.2 Используя результаты измерения затухания на дискретных длинах волн, можно рассчитать кривую спектрального затухания, как это описано в приложении D.

Приложение В
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу В. Вносимые потери

В.1 Оборудование

В.1.1 Характерная установка

На рисунках В.1 и В.2 представлены схемы соответствующих измерительных установок.

В.1.2 Общее оборудование для методов А и В

См. положения А.1.1, а также всю соответствующую информацию по условиям возбуждения в А.1.2 (для одномодового волокна), А.1.3 (для градиентного многомодового волокна категории А1) и А.1.4 (для ступенчатого многомодового волокна категорий А2 — А4).

В.1.3 Дополнительное оборудование для метода В

Метод вносимых потерь требует использования очень точного соединительного устройства волокно—волокно для минимизации потерь при соединении для получения надежных результатов. Соединительное устройство может иметь механическую визуально контролируемую регулировку или соединитель сердцевина—сердцевина.

В.2 Порядок проведения измерений

В.2.1 Эталонное волокно должно быть той же категории, что и испытуемое волокно. Все соединители и связанные с ними потери включены в определение эталонного волокна.

В.2.2 Сначала калибруют измерительное оборудование для определения входного эталонного уровня P_1 (λ). При первоначальной калибровке используют волокно той же категории, что и эталонное. Длина эталонного волокна должна быть малой (например, 2 м), чтобы можно было пренебречь его затуханием. (Если затуханием в эталонном волокне нельзя пренебречь, то добавляют это значение к рассчитанному значению.)

В.2.3 Присоединяют испытуемое волокно к измерительному оборудованию и регулируют соединение до достижения максимального уровня на оптическом детекторе. Записывают выходную мощность P_2 (λ).

В.3 Расчеты

Рассчитывают затухание, используя уравнение (1) в 3.1, или коэффициент затухания, используя уравнение (2) в 3.2, или оба эти параметра, если требуется.

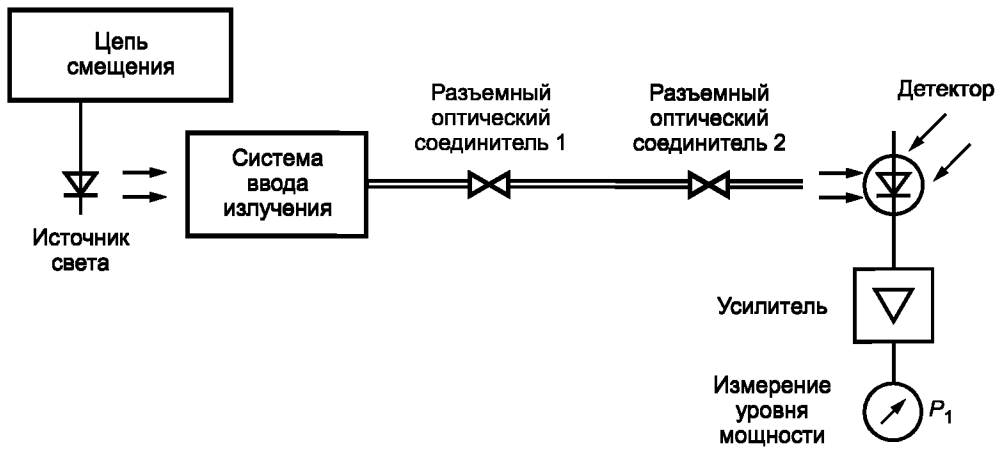

Рисунок В.1 — Калибровка установки для измерения вносимых потерь

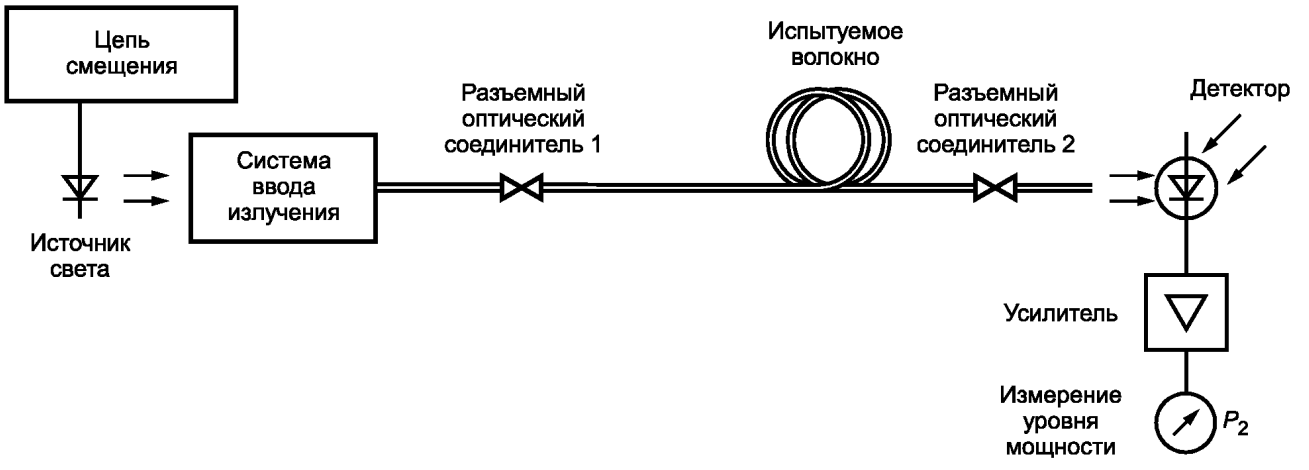

Рисунок В.2 — Измерение вносимых потерь

Приложение С
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу С. Обратное рассеяние

Метод обратного рассеяния, представляющий собой одностороннее измерение, измеряет оптическую мощность излучения рассеянного и обратно отраженного от различных точек волокна ко входу волокна.

Данное измерение зависит от скорости распространения и от рассеивающих и отражающих свойств волокна и может быть неточным при измерении затухания в волокне. Данный метод может использоваться только для измерения затухания в волокне путем измерения обратного рассеяния от обоих концов испытуемого волокна и усреднения двух графиков обратного рассеяния.

Данный метод позволяет проводить анализ всего волокна, особенно продольных подсекций волокна, или даже распознавание отдельных точек, таких как места сращивания. Он также позволяет рассчитывать длину волокна.

Методы, описывающие равномерность затухания по двунаправленным усредненным графикам обратного рассеяния, находятся в стадии рассмотрения. Ожидается, что они появятся в виде технической спецификации МЭК.

С.1 Оборудование

При данном методе используется оптический рефлектометр временной области (ОРВО), который обычно состоит из следующего минимального набора компонентов (рисунок С.1).

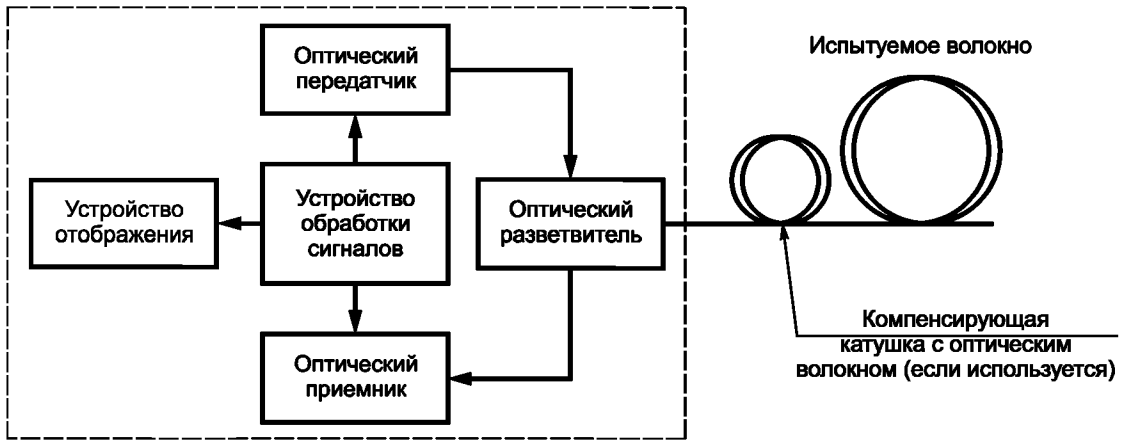

Рисунок С.1 — Блок-схема ОРВО

С.1.1 Оптический передатчик

Обычно состоит из одного или более импульсных лазерных диодных источников излучения, способных формировать импульсы одной или более длительности и частоты. Если не указано иное в подробной спецификации на волокно/кабель, спектр для каждой длины волны должен удовлетворять следующим условиям.

С.1.1.1 Центральная длина волны должна находиться в пределах 15 нм от установленного значения; следует фиксировать в отчете, если различие между центральной длиной волны и установленным значением более чем 10 нм.

С.1.1.2 Среднеквадратичная ширина спектра (СКВШ) не должна превышать 10 нм, или полная ширина спектра на уровне полумаксимума (ПШПМ) не должна превышать 25 нм.

С.1.1.3 Если данные используются при моделировании спектрального затухания, то:

- ширина спектра не должна превышать 15 нм (ПШПМ) или 6 нм (СКВШ) для длин волн в области пика поглощения воды (например, 1360–1430 нм);
- следует фиксировать в отчете, что действительная центральная длина волны находится в пределах 2 нм от установленного значения.

С.1.2 Условия возбуждения

Применяют средства соединения испытуемого волокна (или, по выбору, компенсирующей катушки с волокном по С.1.9) с инструментальной панелью или с гибким выходом волокна (пигтейлом) источника.

Для волокна класса А оптические источники могут не обеспечить хорошо управляемые или подходящие для данного метода измерений условия возбуждения. Следовательно, условия возбуждения для измерений затухания должны быть такими, которые используются при измерении затухания по методу обрыва (по методу А).

С.1.3 Оптический разветвитель

Соединитель/разветвитель направляет мощность от передатчика в волокно. Он также направляет свет, возвращающийся по волокну с противоположного направления, к приемнику.

С.1.4 Оптический приемник

Обычно представляет собой фотодиодный детектор, имеющий ширину полосы, чувствительность, линейность и динамический диапазон, совместимые с длительностью используемых импульсов и уровнями принимаемых сигналов.

С.1.5 Длительность и частота импульсов

ОРВО может предоставлять выбор импульсов нескольких длительностей и частот повторения (иногда связанных с дистанционным управлением) для оптимизации согласования между разрешением и диапазоном. С отражением высокой амплитуды может возникнуть необходимость установить частоту или диапазон для значения расстояния, в два раза превышающего расстояние отражения для предотвращения появления ложных «призрачных» отражений. Могут также применяться методы кодирования импульсов.

Примечание — Следует внимательно выбирать длительность и частоту повторения импульса и мощность источника излучения. Для измерений на коротких расстояниях необходимы малые длительности для обеспечения соответствующего разрешения. Это в свою очередь ограничивает динамический диапазон и максимально измеряемую длину. Для измерений на больших длинах динамический диапазон может быть увеличен путем повышения пиковой оптической мощности до уровня, ниже которого нелинейные эффекты незначительны. С другой стороны, может быть увеличена ширина импульса, что приведет к уменьшению разрешающей способности измерений.

С.1.6 Устройство обработки сигналов

Если требуется, уровень сигнал — шум может быть увеличен путем усреднения сигнала на более длительном интервале времени измерения.

С.1.7 Устройство отображения

Устройство отображения входит в схему ОРВО и является частью оборудования, управляющего ОРВО. Сигнал ОРВО отображается в графической форме как децибелы по оси ординат и как расстояние по оси абсцисс. Ось ординат в децибелах должна соответствовать обратно рассеянным потерям за двойной проход. Ось абсцисс должна соответствовать половине объединенной оптической групповой задержки, преобразованной в расстояние. Такие инструменты, как курсоры, могут использоваться для ручного или автоматического измерения всей линии ОРВО или ее части на устройстве отображения.

С.1.8 Информационный интерфейс (если используется)

Данный инструмент может обеспечить сопряжение с компьютером для автоматического анализа сигнала или создания определенной копии отображаемой линии.

С.1.9 Устройство управления отражением (если используется)

Средства минимизации кратковременного насыщения приемника вследствие высоких значений отражения Френеля могут потребоваться для уменьшения длины волокна компенсирующей катушки, следующей за каждым рефлектором. Они могут входить в разветвитель или могут быть реализованы посредством электронного маскирования. Для преодоления первоначального отражения у соединителя ОРВО компенсирующая катушка с волокном (длиной в метрах численно превосходящая одну десятую длительности отображенного импульса в наносекундах) может использоваться между соединителем ОРВО и образцом.

С.1.10 Оптические неразъемные и разъемные соединители

Если иное не указано в определенном методе, любые неразъемные и разъемные соединители, требуемые ОРВО (например, для соединения оптического рефлектометра или компенсирующей катушки с волокном с испытуемым волокном), должны иметь низкие вносимые потери и низкую отражательную способность (высокие обратные потери). Это требуется для минимизации внешних воздействий на рассматриваемую линию ОРВО.

С.2 Отбор и подготовка образцов

Образец представляет собой волокно на катушке или в составе кабеля согласно требованиям подробной спецификации на волокно/кабель. Измерение может проводиться в заводских и реальных условиях эксплуатации на единых и соединенных секциях.

Примечание — Следует убедиться, что намотка не вносит искусственное затухание для точечной разрывности или измерения затухания. С другой стороны, искусственные помехи, ограниченные концами отрезка волокна (как в случае с первым слоем на катушке), могут быть исключены из вычислений коэффициента затухания.

С.3 Порядок проведения измерений

Использование ОРВО для непрямых измерений затухания или коэффициента затухания в оптическом волокне или оптическом кабеле описано ниже.

Для оптических волокон категорий А1 и А2 более точные значения могут быть получены измерением спектрального затухания методом обрыва. Если значения, полученные этими двумя измерениями, различаются, правильными считаются значения, полученные методом обрыва, если иное не указано в подробной спецификации на волокно/кабель.

Для оптических волокон категорий B1 и B2 путем проведения этих измерений на многих длинах волн может быть получена кривая спектрального затухания, с использованием тех же отношений, что и описанные в методе D (см. приложение D).

С.3.1 Образец соединяют либо с измерительным прибором, либо с одним концом компенсирующей катушки с волокном (если используется). Другой конец компенсирующей катушки с волокном (если используется) соединяют с измерительным прибором.

С.3.2 Так как должны быть зафиксированы коэффициент затухания и точные значения расстояний, требуется знать значение эффективного показателя групповой задержки образца. Если это значение неизвестно, используют метод измерений ОРВО волокна или отрезка кабеля (метод B в МЭК 60793-1-22) для его определения.

С.3.3 Параметры ОРВО, такие как длина волны источника, длительность импульса, диапазон длины и среднее значение сигнала, вводят в измерительный прибор вместе с эффективным показателем групповой задержки образца (если требуется согласно С.3.2). Значения некоторых из этих параметров могут быть предустановлены в измерительном приборе.

С.3.4 Измерительный прибор настраивают, чтобы отобразить сигнал обратного рассеяния от образца. Может быть полезным начать с грубого пропорционального масштабирования по вертикали и горизонтали для отображения максимально возможной длины отрезка. На рисунках С.2 и С.3 приведены примеры для использования с измерением затухания и на рисунках С.4 и С.5 — схематические примеры для использования с измерением точечного дефекта.

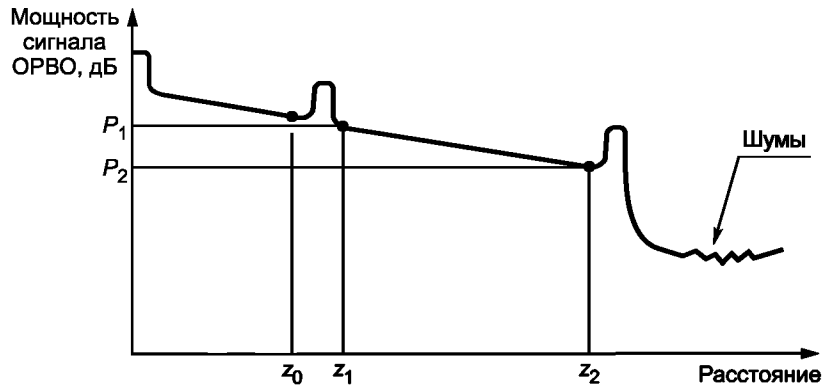

Рисунок С.2 — Схематическая линия ОРВО для «однородного» образца, предваряемого компенсирующей катушкой с волокном

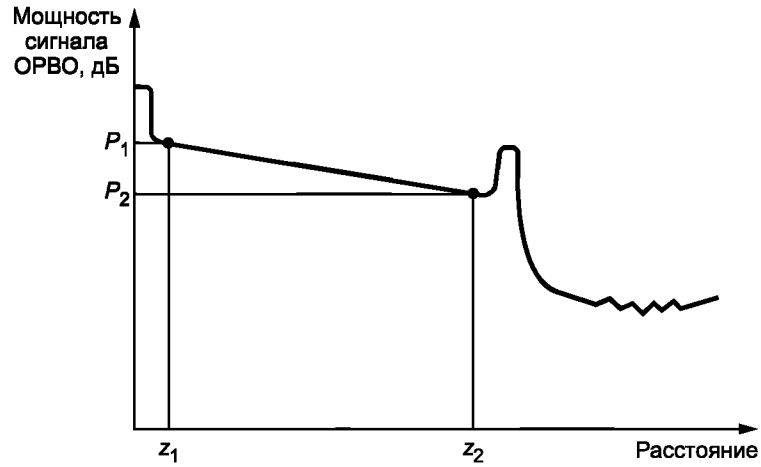

Рисунок С.3 — Схематическая линия ОРВО для «однородного» образца, не предваряемого компенсирующей катушкой с волокном

С.3.5 Дальнейшие шаги по измерению затухания

С.3.5.1 Шаг 1

Если есть необходимость в увеличенном разрешении, следует по возможности отрегулировать графический дисплей на отображение рассматриваемой области в более крупном масштабе (добившись того, чтобы соответствующие показания истинного сигнала можно было отличить от шума).

С.3.5.1.1 (Если применяется С.4.3.) При использовании компенсирующей катушки с волокном следует обратиться к рисунку С.2. Курсор помещают в начало образца до падения мощности (что может быть сложно сделать) или в точку (которая может быть определена производителем) на переднем фронте отраженного импульса. (Если начало не очевидно из-за минимальной неоднородности, круто изгибают волокно около этого места и изменяют радиус изгиба для обеспечения размещения курсора.) Определяют координату расстояния z_0 с помощью алфавитно-цифрового дисплея. Если компенсирующая катушка с волокном не используется, то размещения курсора не требуется; принимают $z_0 = 0$.

С.3.5.1.2 Устанавливают курсор в начало линейной части (после ближнего конца) графика для образца. Если используется компенсирующая катушка с волокном (рисунок С.2), помещают курсор позади восстановления от малого отражения в конце компенсирующей катушки с волокном. Если не используется компенсирующая катушка с волокном (рисунок С.3), помещают курсор позади компенсирующей катушки соединителя оптического рефлектометра. Определяют координаты расстояния и мощности [z_1, P_1 (λ)] с помощью алфавитно-цифрового дисплея.

С.3.5.1.3 Помещают тот же или другой курсор в конец образца, в точку, сходную с точкой в С.3.5.1.1. Если конец не очевиден из-за минимальной разрывности, следует круто изогнуть кривую около этого места и изменить радиус для обеспечения размещения курсора. В качестве альтернативы, если возможно, разрезают дальний конец волокна для получения там отражения. Определяют координаты [z_2, P_2 (λ)].

С.3.5.1.4 Повторяют соответствующие испытания по С.3 на каждой требуемой длине волны.

С.3.5.2 Шаг 2

Повторяют измерения для сигнала, введенного в образец в противоположном направлении. Для получения точных значений затухания усредняют двунаправленные линии на одной и той же длине волны для исключения влияния длины волокна, изменяющей свойства обратного рассеяния.

С.3.6 Дальнейшие шаги по измерению точечного дефекта

С.3.6.1 Проверяют сигнал ОРВО по длине волокна на наличие точечных дефектов, как определено в 3.4. Если требуется увеличенное разрешение, следует по возможности настроить графический дисплей на отображение рассматриваемой области в более крупном масштабе, добившись того, чтобы соответствующие показания истинного сигнала можно было отличить от шума (пример см. на рисунке С.5).

С.3.6.2 Для определения существования точечного дефекта (предпочтительнее, чем неравномерности затухания) исследуют рассматриваемую область, используя импульсы двух разных длительностей. Если форма потери или приращения мощности сигнала изменяется с длительностью импульса, то аномалия и есть точечный дефект. Если форма не меняется, считают, что аномалия является неравномерностью затухания и должна измеряться согласно порядку проведения испытаний по измерению затухания в волокне или кабеле. В качестве альтернативы, если форма и длительность импульса ОРВО известны, результирующая форма кривой обратного рассеяния в местах точечных дефектов может использоваться для определения их существования.

С.3.6.3 Любые отклонения точечных дефектов, которые превышают значения, установленные в подробной спецификации на волокно/кабель, фиксируют в отчете. Указывают природу этих дефектов (например, видимые потери и приращения, отражение, длительность и т. д.), как требуется подробной спецификацией на волокно/кабель.

С.3.6.3.1 Если требуется, определяют место дефекта, поместив курсор в начало участка увеличения или падения мощности (или в другую точку, установленную изготовителем оптического рефлектометра). Для участка падения мощности это может быть трудно сделать. Определяют координаты посредством алфавитно-цифрового дисплея.

С.3.6.3.2 Если требуется, определяют видимые потери и приращение дефекта методом, описанным изготовителем оптического рефлектометра. Некоторые инструменты требуют размещения пары курсоров с каждой стороны дефекта. Экстраполируют две наиболее подходящие прямые линии (исходя из приближения по методу двух точек или метода наименьших квадратов) до места дефекта. При доступности следует выбрать метод линейного приближения. Вертикальное разделение линий дает видимые потери или приращение.

Отмечают любые пики отражения. Высота конкретного пика будет уменьшаться с увеличением ширины импульса и увеличиваться с уменьшением ширины импульса.

С.3.6.3.3 Повторяют измерения для сигнала, введенного в образец в противоположном направлении. Проводят расчет потерь (и исключение видимых приращений) путем усреднения показаний с обоих направлений на одной и той же длине волны. Это устраняет воздействия любых различий обратного рассеяния для секций волокна с обеих сторон дефекта. Может оказаться невозможным проведение двунаправленных измерений. В таком случае необходимо проводить только односторонние измерения.

С.3.6.3.4 Повторяют испытание на другой длине волны, если это требуется подробной спецификацией на волокно/кабель.

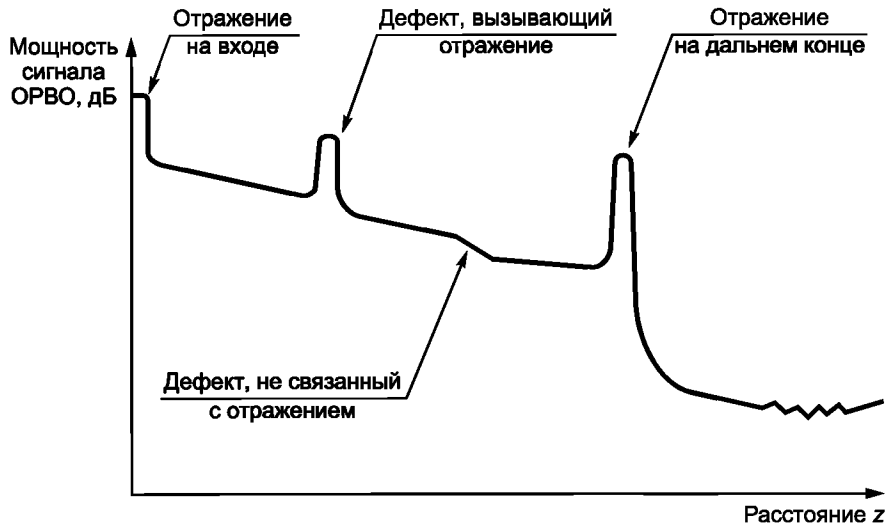

Рисунок С.4 — Схематическая линия ОРВО, показывающая видимые потери вследствие точечных дефектов, один — отражающий и один — не отражающий

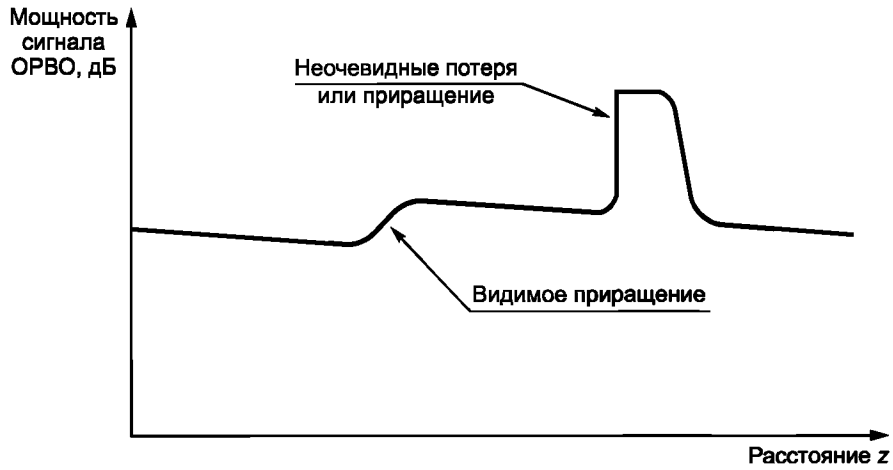

Рисунок С.5 — Схематическая продленная линия ОРВО, показывающая два точечных дефекта, один — с видимым приращением и другой — с неочевидными потерей или приращением

С.3.7 Калибровка

В стадии рассмотрения.

С.4 Расчеты

С.4.1 Затухание однонаправленного обратного рассеяния в волокне или секции кабеля, начинающееся после компенсирующей катушки, задается выражением $[P_1(\lambda) - P_2(\lambda)]$ в дБ.

С.4.2 Коэффициент затухания однонаправленного обратного рассеяния в волокне или секции кабеля задается выражением $\alpha = [P_1(\lambda) - P_2(\lambda)] / (z_2 - z_1)$ в дБ/км.

С.4.3 (Необязательный, применяется с С.3.5.1.1.) Затухание однонаправленного обратного рассеяния во всем волокне или секции кабеля задается выражением $[P_1(\lambda) - P_2(\lambda)] + \alpha (z_1 - z_0)$ в дБ (где α определяется в С.4.2) или эквивалентно $[P_1(\lambda) - P_2(\lambda)] (z_2 - z_0) / (z_2 - z_1)$ в дБ.

С.4.4 Некоторые оптические рефлектометры могут автоматически выполнять двухточечные вычитания в С.4.1 и С.4.2.

Примечание — Некоторые оптические рефлектометры могут также проводить приближения до прямой линии по методу наименьших квадратов, но это может дать результаты, которые будут отличаться от результатов метода двухточечных вычитаний. Тип вычислений указывают в подробной спецификации на волокно/кабель. Усредненное значение, полученное методом наименьших квадратов, может иметь лучшую воспроизводимость при воздействии шумов, но может приводить к ошибкам при наличии неоднородностей.

С.4.5 Как и в С.3.6, расчеты повторяют для измерений на каждой длине волны в противоположном направлении. Рассчитывают среднее значение двух вычислений, проведенных по С.4.2, для нахождения коэффициента затухания волокна при данной длине волны.

С.4.6 Повторяют расчеты С.4.1 — С.4.5 для определения коэффициента затухания на каждой длине волны.

С.5 Результаты

С.5.1 В дополнение к требованиям 10.1 отчет должен содержать следующую информацию по измерению точечных дефектов:

- конец образца, где был размещен оптический рефлектометр;
- особенности точечных дефектов в соответствии с установленным в подробной спецификации на волокно/кабель.

С.5.2 В дополнение к требованиям 10.2 по требованию предоставляется следующая информация:

- образец волокна или кабеля, включая его тип, действительное значение группового показателя преломления, длина и условия размещения;
- инструмент ОРВО (включая марку, модель и руководство пользователя);
- длительность импульса (импульсов), диапазон (диапазоны) шкалы, действия по усреднению сигнала;
- центральная длина (центральные длины) волны (волн), ширина спектра сигнала (сигналов), периодически контролируемые по С.1.1;
- указание о том, использовалась ли компенсирующая катушка с волокном;
- метод расчета.

Рисунки показывают примеры линий ОРВО для нескольких типов точечных дефектов: дефект, вызванный отражением, и дефект, не связанный с отражением, — оба демонстрируют видимые потери (рисунок С.4); дефект, демонстрирующий видимое приращение, и дефект с неочевидными потерей или приращением (рисунок С.5).

Приложение D
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу D. Моделирование спектрального затухания

До настоящего времени метод D применялся только для волокон категорий B1 и B2.

Коэффициент затухания волокна для спектра длин волн может быть рассчитан посредством характеристической матрицы *M* и вектора *v*. Вектор *v* содержит измеренные коэффициенты затухания для небольшого числа (три — пять) длин волн (например, 1310, 1330, 1360, 1380 и/или 1550 нм).

При одном подходе изготовитель волокна или кабеля должен предоставлять матрицу характеристик своего изделия. В этом случае смоделированное спектральное затухание — это вектор *w*, рассчитанный по *M* и *v* для данного изделия:

$$w = M\,v. \qquad (D.1)$$

При другом подходе, когда используется общая матрица, изготовитель должен предоставлять вектор поправочных коэффициентов *e*, так что уравнение прогноза принимает следующий вид:

$$W = w + e, \qquad (D.2)$$

где *W* — измененный вектор;
w — см. уравнение D.1;
e — вектор поправочных коэффициентов.

Общая матрица представляет собой характеристическую матрицу, которая может быть применена ко множеству волокон, конструкций и изготовителей (по-видимому, в рамках одного типа волокон); которая определяется и/или вводится в действие органом по стандартизации, каким-либо одним покупателем / конечным потребителем или другим промышленным источником; с которой отдельно взятый изготовитель может сравнить свою продукцию, разрешая имеющиеся различия с помощью вектора *e*.

D.1 Оборудование

Поскольку метод предполагает использование при расчете заранее определенных значений, то он не требует специального оборудования. Следует использовать соответствующие методы, применяемые для получения измеренных значений, на основе которых проводятся расчеты.

D.2 Отбор и подготовка образцов

См. D.1.

D.3 Порядок проведения расчетов

См. D.1.

D.4 Расчеты

Коэффициент затухания волокна для спектра длин волн может быть рассчитан с помощью уравнения (D.1). Вектор *v* содержит измеренные коэффициенты затухания для небольшого числа (три — пять) длин волн (например, 1310, 1330, 1360, 1380 и/или 1550 нм). Умножая матрицу *M* на вектор *v*, получаем вектор *w*, который содержит прогнозируемые коэффициенты затухания для многих длин волн (в диапазоне длин волн от 1240 до 1600 нм с интервалом 10 нм). Результирующий вектор *w* содержит прогнозируемые коэффициенты затухания для многих длин волн (в диапазоне длин волн от 1240 до 1600 нм с интервалом 10 нм).

Матрица M имеет вид:

$$\begin{matrix} A_{11} & A_{12} \ldots\ldots\ldots\ldots A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} \ldots\ldots\ldots\ldots A_{2n} \\ \text{»} & \text{»} \\ \text{»} & \text{»} \\ \text{»} & \text{»} \\ A_{m1} & A_{m2} \ldots\ldots\ldots\ldots A_{mn}, \end{matrix}$$

где *m* — число значений длин волн, для которых должны быть получены оценочные значения коэффициентов затухания;
n — число значений длин волн, по которым определяются оценочные значения коэффициентов затухания.

Значения стандартных отклонений разницы между действительными и прогнозируемыми коэффициентами затухания для каждой длины волны должны быть менее 0,*xx* дБ/км в установленном диапазоне длин волн. Может потребоваться и другое предельное отклонение — 0,*yy* дБ/км, если определен дополнительный диапазон длин волн. Значения *xx* (и *yy*) и диапазон(ы) длин волн согласуются между изготовителем и покупателем.

Если оценочные значения получены путем использования соответствующей матрицы *M* изготовителя, тогда в поправочном векторе *e* нет необходимости.

Так как элементы *M* и *e* определяются на статистической основе, то элементы вектора *w* должны определяться как статистические. Для указания точности прогнозируемых коэффициентов затухания изготовители волокна должны указывать вектор, содержащий значения стандартных отклонений разницы между действительными и прогнозируемыми коэффициентами затухания вместе с *M* и/или *e* (см. D.5).

Примечания

1 Для улучшения использования матрицы должны регулярно проводиться измерения на волокне для длин волн, по которым прогнозируется затухание. Таких значений длин волн должно быть от трех до пяти, предпочтение должно отдаваться более низкому числу при условии достижения достаточной точности. Конкретные значения длин волн (например, 1310, 1330, 1360, 1380 и/или 1550 нм) являются предметом дальнейшего изучения.

2 Данная модель рассматривает затухание в волокне вне кабеля. Дополнительный вектор должен быть добавлен к вектору *w* для учета влияния изготовления кабеля и внешних воздействий.

D.5 Результаты

D.5.1 В дополнение к обязательной информации по 10.1 отчет должен содержать данные о прогнозируемом затухании и соответствующей длине волны.

D.5.2 В дополнение к обязательной информации по 10.2 по требованию должна предоставляться следующая информация:

- метод, используемый для получения измеренных значений затухания;
- матрица, используемая для прогнозирования спектрального затухания, или поправочный вектор, если использовалась стандартная матрица;
- вектор, содержащий значения стандартных отклонений разницы между действительными и прогнозируемыми коэффициентами затухания, полученные во время формирования матрицы.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60793-1-22	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-22—2012 «Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины»
МЭК 60793-1-43	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-43—2013 «Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура»
Примечание — 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, измерение затухания, испытательное оборудование, методы испытаний, обработка результатов

Редактор *И. В. Алферова*
Технический редактор *О. Н. Власова*
Корректор *В. Г. Гришунина*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Сдано в набор 23.12.2013. Подписано в печать 24.02.2014. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,23. Тираж 64 экз. Зак. 3

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru