ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70144— 2022 (МЭК 60793-1-47: 2017)

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-47

Методы измерений и проведение испытаний. Потери, вызванные макроизгибами

(IEC 60793-1-47:2017, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

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 перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 046 «Кабельные изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 июня 2022 г. № 460-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 60793-1-47:2017 «Волокна оптические. Часть 1-47. Методы измерений и проведение испытаний. Потери, вызванные макроизгибами» (IEC 60793-1-47:2017 «Optical fibres — Part 1-47: Measurement methods and test procedures — Macrobending loss», MOD) путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста, а также путем невключения отдельных структурных элементов. Оригинальный текст измененных и невключенных структурных элементов примененного международного стандарта и объяснение причин внесения технических отклонений приведены в дополнительном приложении ДА.

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДБ

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р МЭК 60793-1-47—2014

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». 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.e-ecolog.ru

© IEC, 2017
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 3
4 Оборудование 3
4.1 Метод А. Наматывание ОВ 3
4.2 Метод В. Изгибы в четверть окружности 3
4.3 Система ввода излучения в ОВ (возбуждение ОВ) 4
4.4 Система вывода оптического излучения и детектирования сигнала 6
5 Образец 7
5.1 Длина образца 7
5.2 Торцевая поверхность образца 7
6 Проведение испытания 7
6.1 Метод А. Наматывание ОВ 7
6.2 Метод В. Изгибы в четверть окружности 9
7 Расчеты 11
8 Результаты 11
8.1 Информация, представляемая по каждому измерению 11
8.2 Информация, представляемая по требованию 11
9 Информация, указываемая в технических требованиях 11
Приложение А (обязательное) Метод изменения коэффициента оптического пропускания ОВ в зависимости от мощности передаваемого сигнала 13
Приложение В (обязательное) Метод обрыва 15
Приложение С (обязательное) Требования к характеристикам источника оптического излучения, применяемого при измерении многомодовых ОВ категории А1 17
Приложение D (справочное) Эффекты, возникающие в ОВ при изгибах малого радиуса 19
Приложение Е (справочное) Аппроксимация потерь при макроизгибах с использованием параллельных плит (двухточечная аппроксимация) 21
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст измененных и невключенных структурных элементов МЭК 60793-1-47:2017 25
Приложение ДБ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 27
Библиография 29

Введение

В серии стандартов МЭК 60793-1 приведены методы измерений и порядок проведения испытаний оптических волокон (ОВ).

В рамках серии несколько различных областей применения сгруппированы следующим образом:

части с 1-10 по 1-19. Общие положения;

части с 1-20 по 1-29. Методы измерений и проведение испытаний по определению размеров;

части с 1-30 по 1-39. Методы измерений и проведение испытаний по определению механических характеристик;

части с 1-40 по 1-49. Методы измерений и проведение испытаний по определению передаточных и оптических характеристик;

части с 1-50 по 1-59. Методы измерений и проведение испытаний по определению климатических воздействий на характеристики.

МЭК 60793-1-47:2017 устанавливает единые требования для измерения потерь, вызванных макроизгибами.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-47

Методы измерений и проведение испытаний. Потери, вызванные макроизгибами

Optical fibres. Part 1-47. Measurement methods and test procedures. Macrobending loss

Дата введения — 2022—11—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает единые требования для измерения потерь, вызванных макроизгибами, для одномодовых оптических волокон (ОВ) (класса В) на рабочей длине волны 1550 или 1625 нм, для многомодовых ОВ категории А1 на рабочей длине волны 850 или 1300 нм и для многомодовых ОВ категорий А3 и А4 на рабочей длине волны 650, 850 или 1300 нм, таким образом содействуя оценке пригодности ОВ и оптических кабелей (ОК) для использования их в коммерческих целях.

В настоящем стандарте указаны два метода измерения чувствительности ОВ к макроизгибам:

- метод А — наматывание ОВ, — относящийся к одномодовым ОВ класса В и многомодовым ОВ категории А1;
- метод В — изгибы в четверть окружности, — относящийся к многомодовым ОВ категорий А3 и А4.

Для обоих этих методов потери, вызванные макроизгибами, могут быть измерены с использованием общих методов измерения затухания в ОВ, например с использованием методики контроля мощности (см. приложение А) или методики обрыва (см. приложение В). Полагают, что измерения, проводимые в соответствии с методами А и В на одном и том же ОВ, приводят к разным результатам.

Это происходит потому, что основное различие между двумя методами заключается в расположении испытуемого ОВ, включая радиус изгиба ОВ и длину ОВ, подвергаемого изгибу. Причиной данного различия является то, что многомодовые ОВ категорий А3 и А4 предполагается размещать на коротких расстояниях с меньшим количеством изгибов на единицу длины ОВ по сравнению с одномодовыми ОВ и многомодовыми ОВ категории А1.

В настоящем стандарте «радиус кривизны» определяют как радиус соответствующей опоры круглой формы (например, оправки или направляющей канавки на плоской поверхности), на которой ОВ может подвергаться изгибу.

Приложение Е приведено с целью аппроксимации потерь, вызванных изгибами, для одномодовых ОВ класса В в широком диапазоне длин волн при изгибах разного диаметра.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты

ГОСТ Р 57139 Кабели оптические. Термины и определения

ГОСТ Р МЭК 60793-1-1 Волокна оптические. Часть 1-1. Методы измерений и проведение испытаний. Общие положения и руководство

ГОСТ Р МЭК 60793-1-20 Волокна оптические. Часть 1-20. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия волокна

ГОСТ Р МЭК 60793-1-21 Волокна оптические. Часть 1-21. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия покрытия

Издание официальное

ГОСТ Р МЭК 60793-1-22 Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины

ГОСТ Р МЭК 60793-1-30 Волокна оптические. Часть 1-30. Методы измерений и проведение испытаний. Проверка прочности оптического волокна

ГОСТ Р МЭК 60793-1-31 Волокна оптические. Часть 1-31. Методы измерений и проведение испытаний. Прочность при разрыве

ГОСТ Р МЭК 60793-1-32 Волокна оптические. Часть 1-32. Методы измерений и проведение испытаний. Снятие защитного покрытия

ГОСТ Р МЭК 60793-1-33 Волокна оптические. Часть 1-33. Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии

ГОСТ Р МЭК 60793-1-34 Волокна оптические. Часть 1-34. Методы измерений и проведение испытаний. Собственный изгиб волокна

ГОСТ Р МЭК 60793-1-40 Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание

ГОСТ Р МЭК 60793-1-41 Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания

ГОСТ Р МЭК 60793-1-42 Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия

ГОСТ Р МЭК 60793-1-43 Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура

ГОСТ Р МЭК 60793-1-44 Волокна оптические. Часть 1-44. Методы измерений и проведение испытаний. Длина волны отсечки

ГОСТ Р МЭК 60793-1-45 Волокна оптические. Часть 1-45. Методы измерений и проведение испытаний. Диаметр модового поля

ГОСТ Р МЭК 60793-1-46 Волокна оптические. Часть 1-46. Методы измерений и проведение испытаний. Контроль изменений коэффициента оптического пропускания

ГОСТ Р МЭК 60793-1-48 Волокна оптические. Часть 1-48. Методы измерений и проведение испытаний. Поляризационная модовая дисперсия

ГОСТ Р МЭК 60793-1-49 Волокна оптические. Часть 1-49. Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная задержка мод

ГОСТ Р МЭК 60793-1-50 Волокна оптические. Часть 1-50. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания влажным теплом (установившийся режим)

ГОСТ Р МЭК 60793-1-51 Волокна оптические. Часть 1-51. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания сухим теплом (установившийся режим)

ГОСТ Р МЭК 60793-1-52 Волокна оптические. Часть 1-52. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания на воздействие смены температур

ГОСТ Р МЭК 60793-1-53 Волокна оптические. Часть 1-53. Методы измерения и проведение испытаний. Испытания погружением в воду

ГОСТ Р МЭК 60793-1-54 Волокна оптические. Часть 1-54. Методы измерения и проведение испытаний. Гамма-излучение

ГОСТ Р МЭК 60793-2 Волокна оптические. Часть 2. Технические требования к изделию. Общие положения

ГОСТ Р МЭК 60793-2-10 Волокна оптические. Часть 2-10. Технические требования к изделию. Групповые технические требования к многомодовым волокнам категории А1

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 57139.

Примечание — Общие определения для ОВ указаны в ГОСТ Р МЭК 60793-2. Определения специальных характеристик приведены в стандарте на соответствующий метод испытаний из серии стандартов *ГОСТ Р МЭК 60793-1.*

Общие положения по проведению испытаний указаны в *ГОСТ Р МЭК 60793-1-1*.

4 Оборудование

4.1 Метод А. Наматывание ОВ

Испытательное оборудование состоит из инструмента (например, оправки или направляющей канавки на плоской поверхности), способного удерживать образец, изогнутый с радиусом, как указано в соответствующих групповых технических требованиях к изделию, и инструмента для измерения потерь в ОВ.

Потери при макроизгибах определяют для конкретного значения длины волны, как указано в соответствующих групповых технических требованиях, используя метод контроля передаваемой мощности (см. приложение А) или метод обрыва (см. приложение В) и обеспечивая соответствующие условия возбуждения для конкретного типа ОВ.

4.2 Метод В. Изгибы в четверть окружности

Испытательное оборудование состоит из одной или более пластин, каждая из которых имеет одну или более «направляющих канавок» и инструмента для измерения потерь в ОВ.

Во время испытания пластины должны располагаться друг над другом, не касаясь испытуемого ОВ в нижней и верхней пластинах; такой контакт повлияет на результаты измерений.

Каждая направляющая канавка должна иметь сегмент в четверть окружности (т. е. 90°), как приведено на рисунке 1. Радиус изгиба *r*, т. е. радиус сегмента в четверть окружности, должен быть указан в нормативных документах на конкретное изделие.

Рекомендуемая ширина каждой направляющей канавки должна быть на 40 % больше диаметра ОВ.

Потери при макроизгибах для конкретного значения длины волны определяют, как указано в соответствующих групповых технических требованиях, используя метод контроля передаваемой мощности (см. приложение А) или метод обрыва (см. приложение В) и обеспечивая соответствующие условия возбуждения для конкретного типа ОВ.

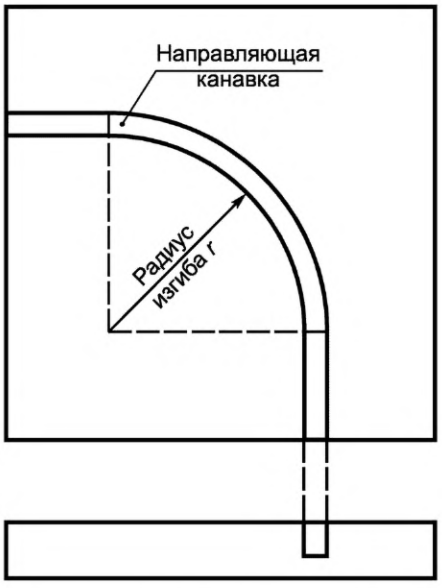


Рисунок 1 — Направляющая канавка в пластине с изгибом в четверть окружности

4.3 Система ввода излучения в ОВ (возбуждение ОВ)

4.3.1 Источник оптического излучения

Применяют 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, чтобы эта линия была узкой, например менее 10 нм, и сравнимой с любым элементом спектрального затухания в ОВ. ОВ располагают на одной оси с конусом ввода излучения или соединяют его с возбуждающим ОВ.

4.3.2 Схема ввода излучения

4.3.2.1 Общие положения

На рисунке 2 приведена общая схема ввода излучения, используемая для всех ОВ. В зависимости от измеряемых параметров для полного или ограниченного ввода излучения в ОВ применяют соответствующую схему ввода излучения. В 4.3.2.3, 4.3.2.4 содержится подробная информация по применению данной схемы для отдельных категорий одномодовых и многомодовых ОВ.

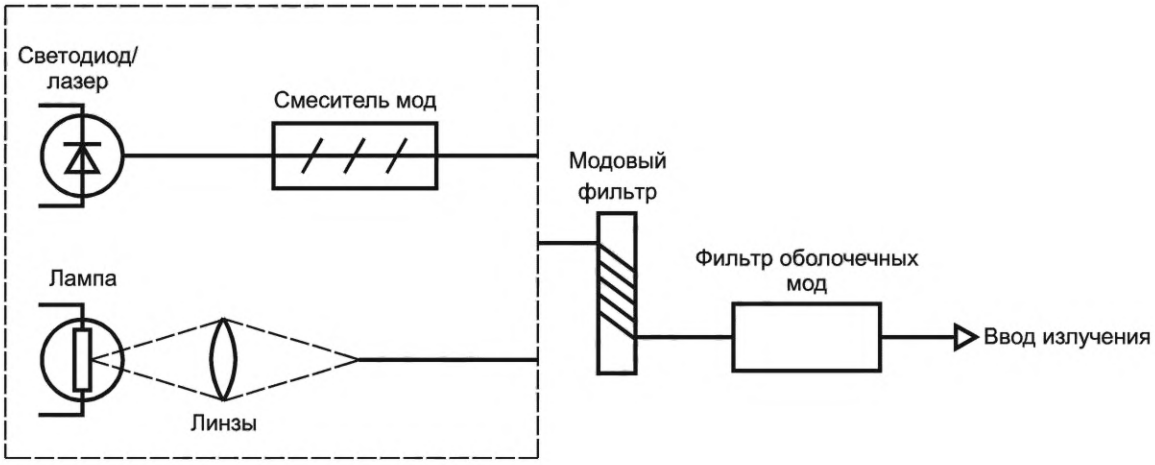


Рисунок 2 — Общая схема ввода излучения

4.3.2.2 Схема ввода излучения для одномодовых ОВ

4.3.2.2.1 Общие положения

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

4.3.2.2.2 Гибкий вывод ОВ (пигтейл)

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

4.3.2.2.3 Система оптических линз

При использовании системы оптических линз обеспечивают стабильную поддержку входного конца ОВ, например с помощью вакуумного держателя. Данную поддержку на позиционирующее устройство устанавливают таким образом, чтобы торец ОВ помещался во входящий луч. Переполнение световым потоком конца ОВ пространственно и под углом позволяет сделать процесс позиционирования ОВ менее чувствительным.

4.3.2.2.4 Фильтр мод высокого порядка

Фильтр мод высокого порядка 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, однако радиус изгиба не должен быть слишком малым, чтобы не возбуждать колебания, зависящие от длины волны.

Также широко распространено применение в качестве модового фильтра стандартного одномодового ОВ для одномодовых ОВ, нечувствительных к изгибам, или других одномодовых ОВ, имеющих незначительный отклик или его полное отсутствие при изгибе ОВ.

4.3.2.2.5 Фильтр оболочечных мод

Для удаления оптической мощности, распространяющейся в оболочке, которая оказывает значительное влияние на принимаемый сигнал, применяют соответствующую методику. Фильтр оболочечных мод обеспечивает необнаружение излучаемых мод, распространяющихся в области оболочки, в ОВ после прохождения небольшого расстояния. Фильтр оболочечных мод часто состоит из материала, имеющего показатель преломления, равный или больший показателя преломления материала оболочки ОВ. Это может быть гель для компенсации потерь отражения в ОВ, нанесенный непосредственно на концы ОВ без покрытия; в некоторых случаях само покрытие ОВ выполняет эту функцию.

4.3.2.3 Схема ввода излучения (возбуждения) для многомодовых ОВ категории А1

Для проведения измерений потерь, вызванных макроизгибами в многомодовых ОВ категории А1, необходимо использовать ввод оптического излучения с радиальным распределением оптической мощности. Требования к характеристикам источника оптического излучения для проведения измерений на ОВ категории А1 приведены в приложении С.

Оптическая мощность с радиальным распределением, излучаемая ОК, определяется характеристикой источника излучения, расположенного на торце разъема, в точке соединения излучающего ОК с разъемом, ОВ внутри ОК, и режимами ввода мод.

Изготовитель испытательного оборудования представляет технические требования к испытуемому ОК, касающиеся его совместимости с конкретным источником оптического излучения. После согласования технических требований к ОК и испытательному оборудованию устанавливаются требования к оптической мощности с радиальным распределением.

4.3.2.4 Схема ввода излучения (возбуждения) для многомодовых ОВ категорий А2—А4

Некоторые примеры типовых схем расположения оборудования для возбуждения коротких ОВ приведены на рисунках 3—5.

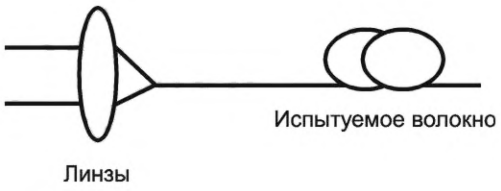


Рисунок 3 — Система линз

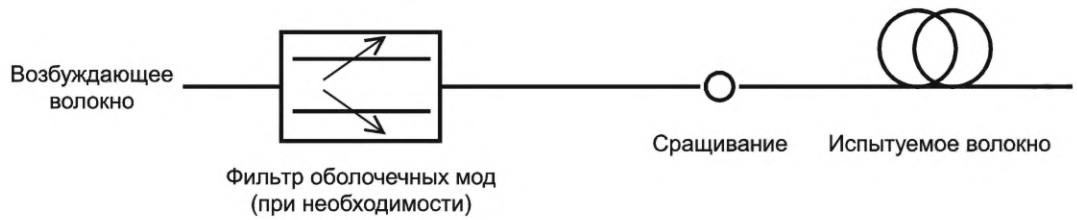


Рисунок 4 — Возбуждающее ОВ

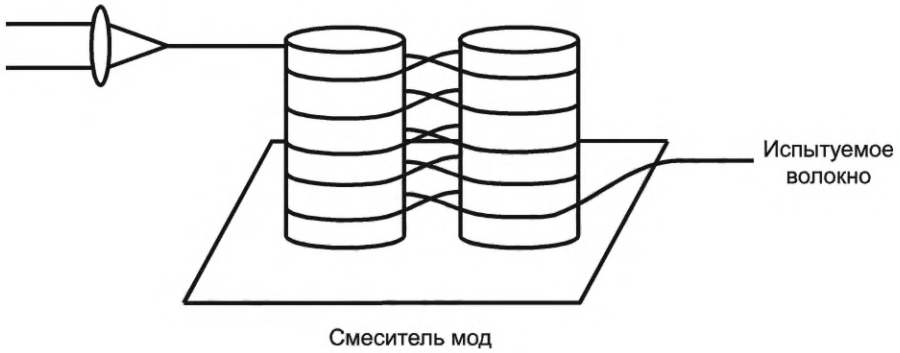


Рисунок 5 — Смеситель мод (для ОВ категории А4)

Необходимо обеспечить воспроизводимость результатов измерения затухания в многомодовых ОВ. Следовательно, необходимо иметь четкое описание схемы возбуждения. Такая схема может состоять из коммерчески доступных оптических компонентов, обеспечивающих размеры светового пятна и числовую апертуру возбуждения в соответствии со значениями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 — Условия возбуждения для ОВ категорий А2—А4

Характеристика	Категория ОВ		
	А2 Стеклянная сердцевина/ стеклянная оболочка	А3 Стеклянная сердцевина/ пластмассовая оболочка	А4 Пластмассовая сердцевина/ пластмассовая оболочка
Размер пятна	Равен размеру сердцевины ОВ	Равен размеру сердцевины ОВ	Равен размеру сердцевины волокна с полным возбуждением мод (или следует использовать смеситель мод с равномерным возбуждением мод)
Числовая апертура	Равна максимальной числовой апертуре ОВ[a]	Равна максимальной числовой апертуре ОВ[b]	Равна максимальной числовой апертуре ОВ с полным возбуждением мод[b]

[a] Данное условие возбуждения можно выполнить путем переполнения модового фильтра, изготовленного из 2 м ОВ, идентичного испытуемому ОВ, с соответствующим фильтром оболочечных мод, и используя выходной сигнал с этого модового фильтра для возбуждения испытуемого ОВ.

[b] Данное условие возбуждения можно выполнить аналогично изложенному в сноске[a]. Однако некоторые типы ОВ категорий А3 и А4 не требуют фильтра оболочечных мод для модового фильтра.

4.4 Система вывода оптического излучения и детектирования сигнала

4.4.1 Оптический разделитель

Если в схеме вывода оптического излучения необходимо использование оптического разделителя, то он должен иметь коэффициент разделения, который остается постоянным во время проведения испытания. Коэффициент разделения и температурная стабильность должны соответствовать частным техническим требованиям. Могут использоваться устройства, имеющиеся в свободной продаже или изготовленные по проекту заказчика.

4.4.2 Оптический детектор

Оптический детектор должен иметь площадь, достаточную для перехвата всей мощности, излучаемой в выходном конусе, и линейную характеристику в диапазоне принимаемого оптического сигнала.

Оптический детектор должен иметь достаточную площадь для охвата всей излучаемой мощности в выходном конусе и должен быть достаточно линейным при всех уровнях оптической мощности. Этот диапазон должен быть в пределах, определенных механической конструкцией, и не должен оказывать значительного воздействия на результаты.

Если применяют более одного детектора, например на схеме, представленной на рисунке А.1, то детекторы должны быть от одного производителя, одной модели и иметь сравнимые характеристики линейности.

4.4.3 Узел оптического детектора

Вся мощность, излучаемая образцом, должна вводиться в активную область детектора с применением соответствующих средств, например с помощью системы оптических линз, или путем торцевого сращивания ОВ с использованием пигтейла, или непосредственного соединения ОВ с детектором. Если детектор имеет гибкий оптоволоконный вывод (пигтейл), то он должен иметь диаметр сердцевины и числовую апертуру достаточно больших значений для захвата всего светового потока, излучаемого эталонным и испытуемым ОВ.

Используют оптический детектор, имеющий линейную характеристику и стабильно функционирующий в диапазоне интенсивности и времени проводимого измерения. Типовая система может включать фотодиод, работающий в фотогальваническом режиме, и входной усилитель с синхронным детектором.

4.4.4 Обработка сигнала

Как правило, применяют модуляцию источника излучения с целью повышения отношения сигнал/шум на приемном устройстве. При проведении модуляции детектор соединяют с системой обработки сигналов, синхронизируя их работу на частоте модуляции источника излучения. Система детектирования должна иметь характеристики, изменяющиеся по линейному или другому известному закону.

Если при проведении измерения ожидается низкий уровень потерь, то на испытуемом ОВ могут быть сделаны дополнительные изгибы при наличии отдельных направляющих канавок для каждого дополнительного изгиба для повышения отношения сигнал/шум. Однако дополнительные действия по аппроксимации диаметра изгиба и контролю изгиба могут вносить и дополнительную погрешность.

5 Образец

5.1 Длина образца

5.1.1 Метод А. Наматывание ОВ

Образец представляет собой отрезок ОВ известной длины, как указано в нормативных документах на конкретный ОК. В частности, длина образца, на котором проводят испытание по измерению затухания, определяется конфигурацией испытательной установки, т. е. радиусом изгиба (R) и числом витков (N); избыточная длина не влияет на результаты измерений при условии оптимального отношения сигнал/шум.

5.1.2 Метод В. Изгибы в четверть окружности

Длину образца определяют по 6.2.

5.2 Торцевая поверхность образца

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

6 Проведение испытания

6.1 Метод А. Наматывание ОВ

6.1.1 Общие положения

ОВ наматывают без натяжения на инструмент, избегая чрезмерного перекручивания ОВ. Информация о числе оборотов, радиусе кривизны и длине волны, при которой измеряют потери в ОВ, приведена в 6.1.1—6.1.3.

Так как действительный радиус кривизны является крайне важной величиной, то допускается максимальное отклонение ± 0,1 мм (для значений радиуса не более 15 мм) или ±1,0 мм (для больших значений радиуса). Для достижения высокой точности измерений для малых радиусов изгиба требуются меньшие значения допустимого отклонения.

Как для одномодовых, так и для многомодовых ОВ два значения оптической мощности могут быть измерены с использованием:

- метода контроля мощности, при помощи которого измеряют увеличение затухания в ОВ вследствие изменения положения ОВ из прямого в изогнутое, или
- метода обрыва, при помощи которого измеряют общее затухание в ОВ в изогнутом положении. Для определения затухания, вносимого вследствие макроизгибов, данное значение должно быть скорректировано с учетом собственного затухания ОВ.

Длина ОВ за пределами оправки и эталонная длина ОВ, на которой измеряют затухание методом обрыва, не должны содержать изгибов, которые могут вносить значительные изменения в результат измерения.

Также возможна перемотка ОВ с оправки большого радиуса (вносящей незначительные потери вследствие макроизгибов) на оправку требуемого радиуса. В этом случае потери вследствие макроизгибов можно определить непосредственно, используя метод контроля мощности (без поправки на собственное затухание ОВ).

Следует избегать скручивания любых частей ОВ во время измерений, так как это влияет на результат измерений.

6.1.2 Одномодовые ОВ

Различные сферы применения ОВ могут потребовать различных условий прокладки: типы ОВ были разработаны для достижения оптимальных характеристик при изгибе для каждого условия прокладки.

Две типовые схемы расположения ОВ рассматриваются для типов ОВ, для которых при определении характеристик данных ОВ следует использовать разные измерительные установки.

a) Магистральные сети:

- вдали от городов обычно нетрудно найти свободное пространство, и изгибы ОВ могут быть ограничены относительно большими радиусами. ОВ, предназначенные для данного применения, испытывают в похожих условиях, то есть с использованием образцов, наматываемых вокруг оправок относительно большого радиуса, например 25—30 мм.

На данную измерительную установку главным образом воздействуют ошибки, определяемые низким отношением сигнал/шум и нежелательным натяжением, скручиванием или наличием петель на относительно длинном отрезке ОВ, используемом при проведении измерений.

b) Сети доступа:

- условия эксплуатации требуют наименьшее возможное значение радиуса изгиба в соответствии с ожидаемым сроком службы и допустимыми потерями. Более подробная информация по сроку службы ОВ указана в *[1].* ОВ, предназначенные для данного применения, испытывают в похожих условиях, то есть образцы изгибают с малыми радиусами, например в диапазоне 7,5—15 мм (см. приложение С).

На результаты измерения могут влиять различные источники, один из которых — отражения. Например, отражение света от границы покрытие/воздух или покрытие/стекло, от окружающих поверхностей, включая поверхность оправки, если она используется, или от соединителей. Испытание можно проводить на образцах, совершающих полный(е) оборот(ы) (360°) вне помещения или вокруг соответствующей оправки или совершающих эквивалентное число неполных оборотов, например полуобороты (180°) или четверти оборотов (90°), вне помещения или вокруг соответствующих оправок. Длина испытуемого образца различается в зависимости от того, наматывают ли ОВ вокруг оправки полными или неполными оборотами. Например, длина полного оборота равна удвоенной длине полуоборота или в четыре раза превышает длину четверти оборота. В дальнейшем термин «виток» относится к полному обороту. Один виток может также состоять, например, из двух последовательных полуоборотов[1)] или четырех последовательных четвертей оборота. Это нужно учитывать при нормировании результатов к длине или образцу (число витков).

Следующие рекомендации применяют к условиям проведения испытания в обоих случаях [вышеуказанные пункты a) и b)]:

Число оборотов

Число оборотов должно соответствовать значениям, указанным в нормативных документах на конкретное изделие.

Для одномодовых ОВ затухание возрастает по линейному закону с увеличением числа витков.

Для каждого радиуса число оборотов выбирают таким образом, чтобы:

- вносимые потери значительно превышали порог обнаружения испытательной установки; при необходимости, например для ОВ с потерями вследствие малых изгибов, испытания можно проводить при большем числе оборотов, чем требуется в технических требованиях, а затем провести линейное нормирование к установленному числу витков;

[1)] Если имеет место чрезмерное смещение между следующими друг за другом полуоборотами ОВ, то длина образца, наматываемого двумя полуоборотами, может быть меньше одного витка. Предлагается максимальное смещение между соседними полуоборотами в 0,5 мм.

- вносимые потери были значительно ниже начального уровня нелинейной области испытательной установки; для радиусов изгиба в диапазоне 5—10 мм это может означать, что должно быть использовано не более 5—10 оборотов.

Радиус изгиба

Значение радиуса изгиба должно соответствовать значениям, указанным в нормативных документах на конкретное изделие[1)].

Длина волны

Значения длины волны при измерении должны находиться в диапазоне 1550—1625 нм согласно соответствующим требованиям нормативных документов на конкретное изделие; нужно учитывать, что потери, вызванные изгибами, увеличиваются экспоненциально при увеличении значения длины волны.

Однородность потерь, вызванных изгибами, в разных угловых положениях в поперечном сечении ОВ необходимо проверять путем проведения испытаний во многих угловых положениях или проверки однородности действительного профиля показателя преломления, определяющего основные характеристики испытуемого изогнутого ОВ.

6.1.3 Многомодовые ОВ категории А1

Потери, вызванные макроизгибами в многомодовых ОВ категории А1, изменяются в зависимости от радиуса изгиба и числа оборотов ОВ вокруг оправки, но в значительной мере не зависят от измеряемого значения длины волны, за исключением случаев влияния возможных осциллирующих эффектов, которые зависят от последовательных отсечек в модовых группах и приводят к увеличению потерь, вызванных изгибами для данных значений длины волны.

Значения радиуса изгиба и число оборотов должны соответствовать значениям, указанным в технических требованиях. При проведении испытания с числом оборотов более одного затухание в конкретном витке зависит от затухания в предыдущих витках. Нарастание потерь, вызываемых макроизгибами, добавляемых с каждым витком, уменьшается с каждым дополнительным витком. Потери, вызванные макроизгибами, накопленные при многократных оборотах ОВ, не должны быть выражены в единицах «дБ/оборот», полученных путем деления значения общих накопленных потерь на число оборотов. Вместо этого они должны указываться в дБ для конкретного числа оборотов. Экстраполяция для числа оборотов больше указанного приводит к завышенной оценке общих потерь.

Только в случае многомодовых ОВ параметры возбуждения источника света для испытуемого ОВ, находящегося в положении для ввода излучения, должны соответствовать ожидаемой области применения ОВ. Более подробная информация по условиям ввода излучения в ОВ с макроизгибами указана в приложении С.

6.2 Метод В. Изгибы в четверть окружности

Данный метод применяют к многомодовым ОВ категорий А3 и А4. Испытуемое ОВ осторожно помещают в направляющую канавку (канавки) (см. рисунок 1). Начало каждого регулируемого изгиба должно составлять *s* метров, не считая начала следующего регулируемого изгиба. Начало регулируемого изгиба, ближайшего к концу ОВ, в которое вводят излучение, должно быть расположено на расстоянии 1 м от точки ввода излучения (см. рисунок 6).

Минимальную длину образца определяют в соответствии с уравнениями (1) и (2):

$$L = (n - 1) \cdot s + 2, \quad (1)$$

$$s = \frac{3}{2}\pi \cdot R + 2 \cdot R, \quad (2)$$

где L — минимальная длина образца, м;

n — число изгибов в четверть оборота;

s — интервал между каждым изгибом, м;

R — радиус изгиба ненатянутого ОВ, м.

[1)] Потери, вызванные изгибами, на одномодовом ОВ увеличиваются экспоненциально при увеличении значения длины волны и при уменьшении радиуса (см. приложение А).

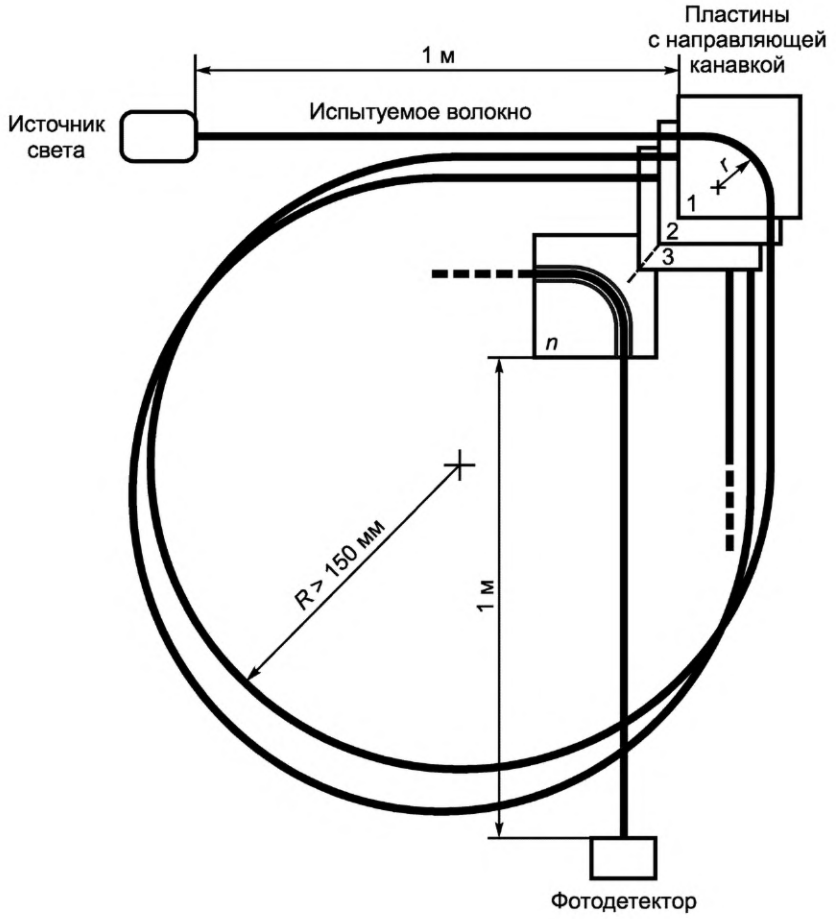


Рисунок 6 — Многократное изгибание ОВ с использованием пластин, расположенных друг над другом

Потери, вызванные макроизгибами, обусловленные многократными изгибами разного радиуса, можно измерять одновременно, размещая друг над другом пластины с вырезанными в них канавками, имеющими разные установленные значения радиуса (см. рисунок 6).

Если в нормативных документах на конкретное изделие не указано иное, то для проведения данного испытания используют следующие значения:

- радиус макроизгиба r = 25 мм,
- число макроизгибов n = 10,
- радиус изгиба ненатянутого ОВ $R \geq 150$ мм,
- длина волны 650, 850 или 1300 нм.

Данные параметры соответствуют интервалу между каждым макроизгибом $s \geq 1$ и длиной образца $L \geq 11$ м.

Накопленные потери в ОВ, вызываемые изгибами, измеряют с использованием метода контроля передаваемой мощности (см. приложение А) или метода обрыва (см. приложение В). Используют фильтры оболочечных мод на концах образца ОВ вблизи источника света и детектора. Соответствующий фильтр оболочечных мод состоит из трех оборотов испытуемого ОВ, намотанных вокруг оправки радиусом 15 мм.

При проведении испытания придерживаются следующей последовательности:

a) обрезают ОВ до соответствующей длины и наматывают его на катушку или располагают его на плоской поверхности таким образом, чтобы ОВ имело радиус изгиба (R) равным или более 150 мм;

b) измеряют передаваемую мощность;

c) помещают ОВ в измерительное оборудование (см. рисунки 1 и 6);

d) измеряют передаваемую мощность.

При испытании многократных макроизгибов, например, используя значение по умолчанию n = 10, распределение мод в случае конкретного макроизгиба может зависеть от числа предшествующих ма-

кроизгибов. Например, первый изгиб может влиять на условия ввода излучения на второй изгиб, и второй изгиб может влиять на условия ввода излучения на третий изгиб и т. д. Следовательно, накопленные потери в ОВ, вызываемые макроизгибами, для конкретного изгиба могут отличаться от потерь, накопленных при макроизгибах для другого изгиба. В частности, первый изгиб может оказывать наибольшее влияние на последующие изгибы. Следовательно, накопленные потери в ОВ, вызываемые макроизгибами, обусловленные многократными изгибами, не должны выражаться в единицах «дБ/изгиб» (путем деления всех накопленных потерь на число изгибов). Следовательно, в соответствующих технических требованиях накопленные потери в ОВ, вызываемые макроизгибами, не должны указываться в единицах «дБ/изгиб».

7 Расчеты

Результаты указывают в отчете в следующем виде:

$$\gamma = 10\log_{10}\left(\frac{P_{str}}{P_{Bend}}\right), \quad (3)$$

где γ — потери, дБ;
P_{str} — мощность, измеренная на выходе ОВ без изгиба;
P_{Bend} — мощность, измеренная на выходе ОВ текущего изгиба[1)].

Примечание — Для одномодового ОВ потери могут быть представлены в отчете в единицах «дБ/оборот».

8 Результаты

8.1 Информация, представляемая по каждому измерению

По каждому измерению в отчете представляется следующая информация:
- дата проведения и наименование измерения;
- обозначение образца;
- длина образца;
- радиус кривизны как радиус макроизгиба и измерительная установка (метод А);
- радиус макроизгиба (метод В);
- число оборотов (метод А);
- число макроизгибов (метод В);
- интересующее(ие) значение(я) длины волны;
- условия ввода излучения (только для многомодовых ОВ);
- потери, вызванные макроизгибами.

8.2 Информация, представляемая по требованию

По запросу представляется следующая информация:
- используемый метод измерения: А или В;
- метод измерения мощности: метод контроля мощности или метод отсечки;
- описание схемы измерительного оборудования;
- подробное описание методики проведения вычислений;
- дата последней калибровки оборудования.

9 Информация, указываемая в технических требованиях

В нормативных документах на конкретное изделие указывают следующую информацию:
- тип волокна, на котором проводят измерение;
- условия ввода излучения (только для многомодовых волокон);
- радиус кривизны как радиус макроизгиба (метод А);

[1)] Мощность на выходе прямого ОВ можно рассчитать, используя коэффициент затухания ОВ, длину ОВ, на котором проводились измерения, и выходную мощность источника.

- радиус макроизгиба (метод В);
- число оборотов (метод А);
- число макроизгибов (метод В);
- критерий приемки или отбраковки;
- информация, представляемая в отчете;
- интересующее(ие) значение(я) длины волны;
- любые отклонения от установленной процедуры проведения измерения.

Приложение А
(обязательное)

Метод изменения коэффициента оптического пропускания ОВ в зависимости от мощности передаваемого сигнала

А.1 Оборудование

А.1.1 Общие положения

Испытательное оборудование должно обеспечивать контроль оптического пропускания с высоким разрешением и хорошей стабильностью в пределах промежутка времени и изменения температуры, указанных в нормативных документах на конкретное изделие.

На рисунке А.1 приведена типовая схема испытательного оборудования, пригодного для использования при выполнении механических испытаний и испытаний на воздействие внешних факторов в лабораторных или заводских условиях. Используя для сравнения эталонный образец, испытательное оборудование позволяет измерять изменения коэффициента оптического пропускания, скорректированного с учетом всех изменений, которые могут произойти в источнике оптического излучения. В местах соединения элементов оборудования должны быть обеспечены устойчивые условия соединения.

На рисунке А.2 представлен пример типовой схемы испытательного оборудования, пригодного для использования в полевых, лабораторных или заводских условиях, где требуется проведение долгосрочных испытаний, в случаях, когда возможно стабилизировать источник оптического излучения за счет оптической обратной связи.

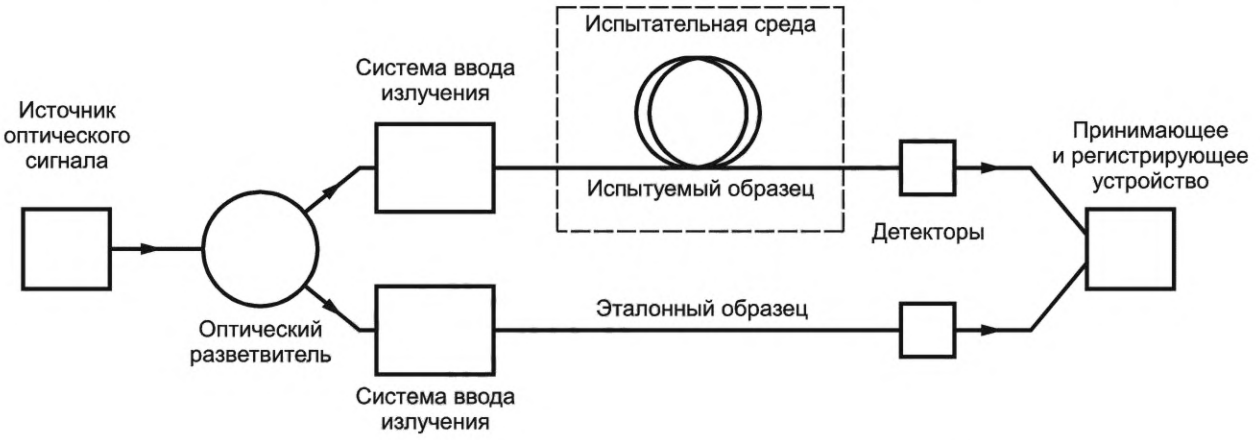


Рисунок А.1 — Измерение изменения коэффициента оптического пропускания с использованием эталонного образца

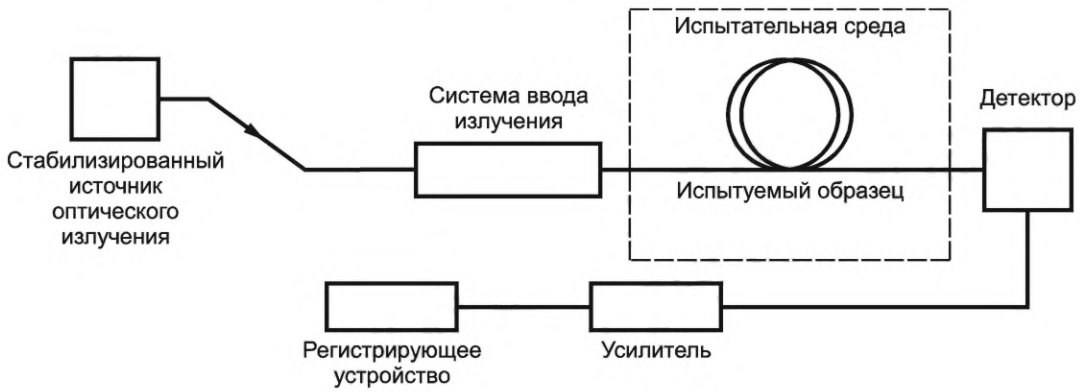


Рисунок А.2 — Измерение изменения коэффициента оптического пропускания с использованием стабилизированного источника

А.2 Проведение испытания

Перед проведением последовательности испытаний измеряют начальную оптическую мощность P_{0t} на выходе испытуемого волокна и в случае, представленном на рисунке А.1, начальную оптическую выходную мощность P_{0r} на выходе эталонного образца.

Во время последовательности испытаний, определенной для проведения механических испытаний, испытаний на воздействие внешних факторов или других испытаний, измеряют последующие значения оптической выходной мощности P_{nt} (n = 1, 2, 3,…) на выходе испытуемого образца и в случае, представленном на рисунке А.1, последующие значения оптической выходной мощности P_{nr} на выходе эталонного образца.

Вышеуказанные измерения позволяют определять величины, пропорциональные значению абсолютной мощности, а не сами значения абсолютной мощности. В случае, представленном на рисунке А.1, коэффициент пропорциональности может различаться между каналами с испытуемым и эталонным волокном. Коэффициенты (коэффициент) пропорциональности не должны изменяться во время последовательности испытаний.

А.3 Расчеты

Изменения коэффициента оптической передачи во время последовательности испытаний для случая, приведенного на рисунке 1, рассчитывают (в децибелах) по формуле

$$D_n(\lambda) = 10\log_{10}\frac{P_{0r}(\lambda)\cdot P_{nt}(\lambda)}{P_{0t}(\lambda)\cdot P_{nr}(\lambda)}, \quad (A.1)$$

для случая, приведенного на рисунке 2:

$$D_n(\lambda) = 10\log_{10}\frac{P_{nt}(\lambda)}{P_{0t}(\lambda)}, \quad (A.2)$$

где $D_n(\lambda)$ — изменение коэффициента оптической передачи во время последовательности испытаний, дБ, при длине волны λ;

$P_{0t}(\lambda)$ — начальная оптическая выходная мощность на выходе испытуемого образца, мВт;

$P_{0r}(\lambda)$ — начальная оптическая выходная мощность на выходе эталонного образца, мВт;

$P_{nt}(\lambda)$ — последующие значения оптической выходной мощности на выходе испытуемого образца, мВт;

$P_{nr}(\lambda)$ — последующие значения оптической выходной мощности на выходе эталонного образца, мВт.

Приложение В
(обязательное)

Метод обрыва

В.1 Общие положения

Метод обрыва является единственным методом, непосредственно вытекающим из определения затухания в ОВ, при котором уровни мощности P_1 (λ) и P_2 (λ) измеряют в двух точках ОВ без изменения условий ввода излучения. P_2 (λ) — мощность, получаемая на выходе ОВ, и P_1 (λ) — мощность, получаемая в точке около входа этого же ОВ после отрезания.

В.2 Оборудование

В.2.1 Общее оборудование для всех ОВ

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

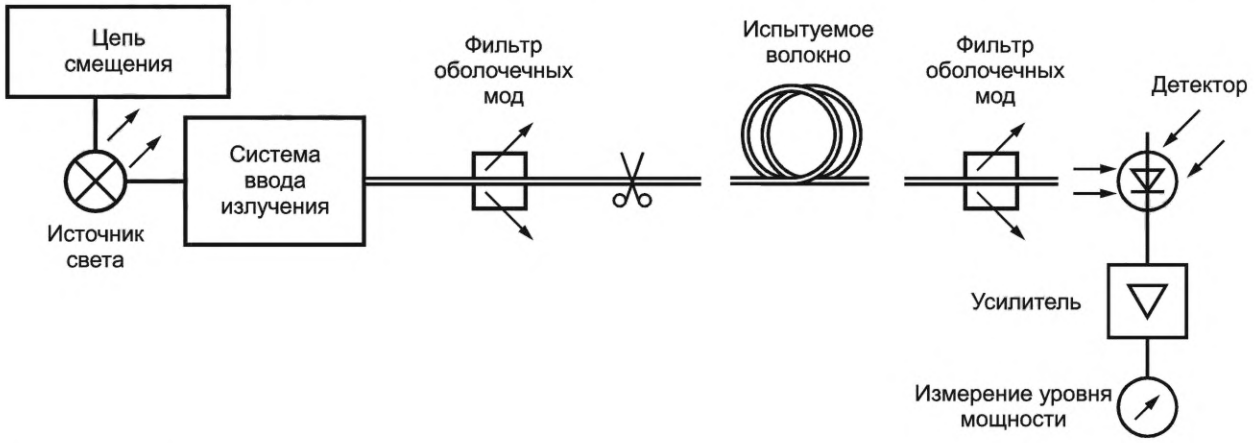


Рисунок В.1 — Расположение оборудования для измерения потерь для установленного значения длины волны

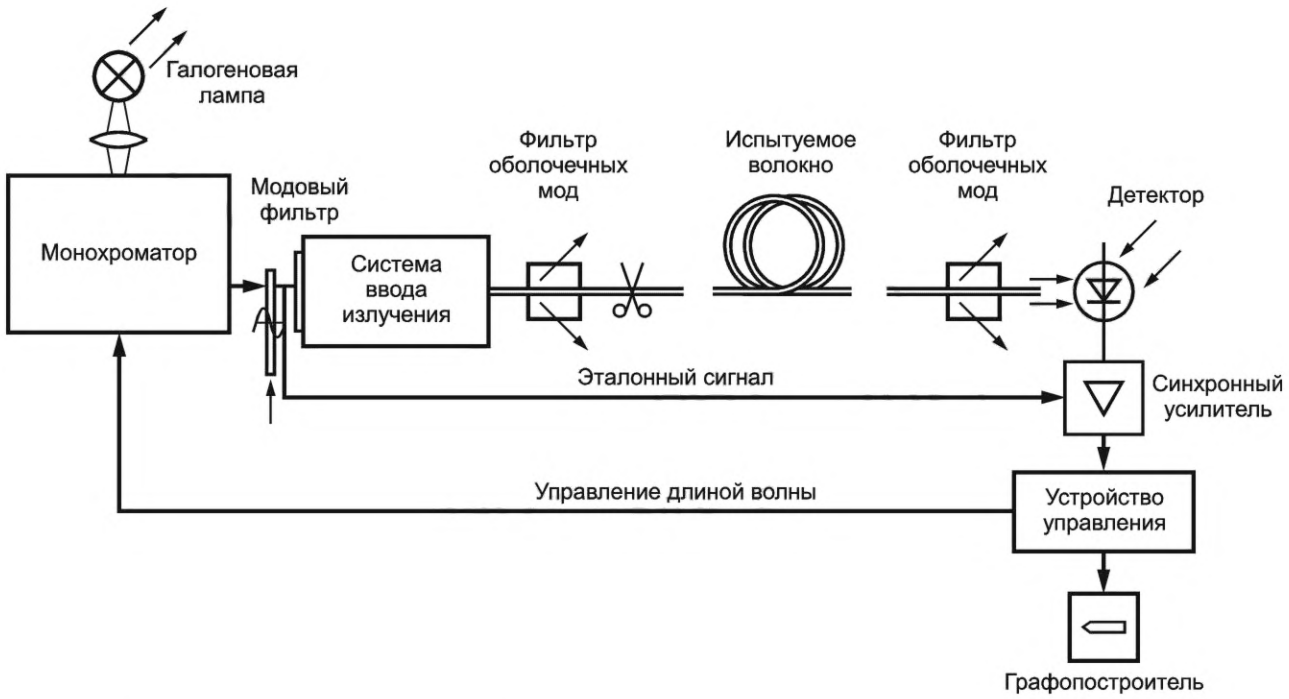


Рисунок В.2 — Расположение оборудования, используемого для получения спектра потерь

В.3 Порядок проведения измерений

Испытуемое ОВ устанавливают в измерительную установку. Регистрируют выходную мощность $P_2(\lambda)$.

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

В.4 Расчеты

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

Затухание в ОВ при длине волны λ между двумя сечениями 1 и 2, разнесенными на некоторое расстояние друг от друга, определяется уравнением:

$$A(\lambda) = \left| 10 \log_{10} \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \right|, \quad \text{(В.1)}$$

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

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

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

Для однородного ОВ в стабильных условиях возможно определить затухание на единицу длины или коэффициент затухания, который не зависит от выбранной длины ОВ, по следующей формуле

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

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

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

L — длина ОВ, км.

Приложение С
(обязательное)

Требования к характеристикам источника оптического излучения, применяемого при измерении многомодовых ОВ категории А1

С.1 Радиальное распределение оптической мощности (EF)

Радиальное распределение оптической мощности (EF) представляет собой отношение мощности, накапливаемой в ближнем поле, к общей выходной мощности как функции радиального расстояния от оптического центра сердцевины ОВ. Его значение определяется по результатам измерения в ближнем поле света, поступающего с конца возбуждающего ОК.

Требования к измерению оптического излучения в ближнем поле приведены в *[2]*. Результат измерения в ближнем поле — функция $I(r)$ от радиуса r относительно центра сердцевины, функцию EF определяют по формуле

$$EF(r) = \frac{\int_0^r xI(x)dx}{\int_0^R xI(x)dx}, \quad (C.1)$$

где R — предел интегрирования (см. [*2*]).

С.2 Предельные значения EF

Данные требования применимы для ОК на основе многомодовых ОВ категорий A1a и A1b, которые определены *ГОСТ Р МЭК 60793-2-10* как ОВ с диаметрами сердцевин 50 и 62,5 мкм и диаметром оболочки 125 мкм. Требования для других категорий многомодовых ОВ находятся в стадии изучения.

Предельные значения EF определяются значением идеального ближнего поля и комплекса связанных условий, обеспечивающих ограничение изменений затухания в результате флюктуаций источника оптического излучения (в зависимости от того, какое значение больше) до уровня, который может быть обеспечен при наличии идеального ввода оптического излучения. Только лишь потери в результате разъемного соединения могут привнести отличия для этих значений затухания.

Основные теоретические положения применительно к предельным значениям EF основываются на определенных ограничениях, которые включают в себя:

- значение и профиль коэффициента преломления сердцевины ОВ;
- спектральная ширина;
- модель Эрмита-Гаусса для модовых полей.

Отклонения от ограничений могут приводить к дополнительным вариациям затухания. Одним из ограничений является то, что затухание измеряют методом LSPM (с использованием измерителя оптической мощности), при применении которого оптическое излучение вводят в прямом направлении через соединения, а отраженный сигнал не учитывается. Метод OTDR (с использованием оптического рефлектометра) основывается на измерении отраженного оптического сигнала, который распространяется по другим путям в ОВ по сравнению с методом LSPM. Соответственно, в двух методах используются разные способы соединения ОВ. Следовательно, является неполным понимание взаимосвязи вариаций затухания на предельные значения EF при применении импульсного оптического рефлектометра.

Условия излучения следует контролировать на выходе возбуждающего ОК (ОК для ввода оптического излучения). Характеристики источника оптического излучения в состоянии его поставки должны быть проконтролированы изготовителем средства измерения для обеспечения специфицированных характеристик излучения, с применением измерительного кабеля, имеющего необходимые характеристики. В случае, если требуется замена возбуждающего ОК, следует приобрести такой же ОК, который соответствует рекомендациям поставщика средства измерения, или же удостовериться в соответствии ОК предъявляемым требованиям с применением одной из процедур (см. *[3]*).

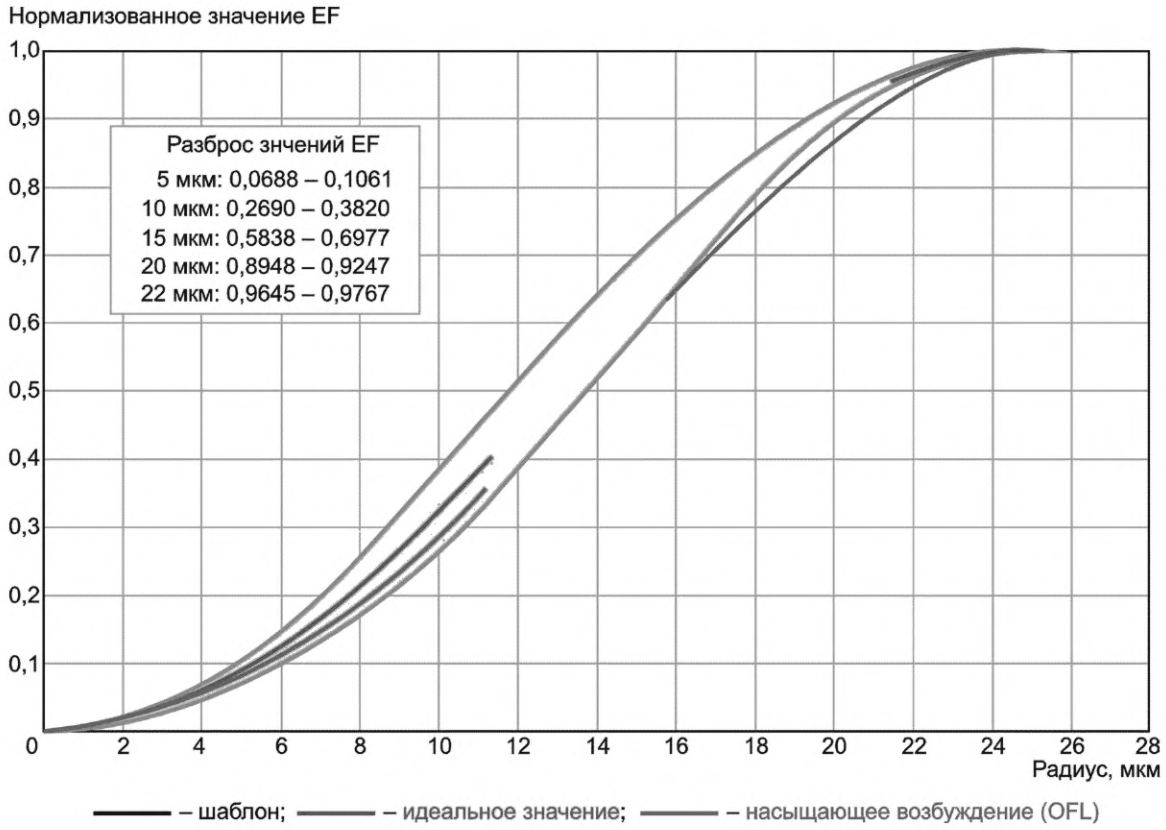
Переменная X представляет собой предельное значение допуска радиального распределения оптической мощности (EF) и зависит от размера сердцевины ОВ и длины волны в соответствии со значениями, приведенными в таблице С.1.

Таблица С.1 — Предельное значение допуска радиального распределения оптической мощности

Номинальное значение диаметра сердцевины ОВ, мкм	Предельное значение допуска радиального распределения оптической мощности, дБ	
	при длине волны 850 нм	при длине волны 1300 нм
50	0,08	0,12
62,5	0,10	0,15

В таблице С.1 приведены номинальные значения диаметра сердцевины ОВ. Диаметр сердцевины ОВ в реальных ОВ, используемых в составе возбуждающего ОК, критичен для обеспечения его хороших характеристик. Значение допусков должно быть не более ± 1 мкм, рекомендуемое — ± 0,7 мкм.

Пример шаблона EF для ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм для длины волны 850 нм приведен на рисунке С.1. На нем же показано идеальное значение EF, а также значение EF, имеющее место при избыточном возбуждении вводимого излучения.



Примечание — Ограничения девиации затухания, длина волны 850 нм, ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм, ограничение формы — 75 %, характеристики (сдвиг в мкм × CMPTS, дБ) = (2,0 дБ × 2,08 дБ), (3,0 дБ × 2,08 дБ), (4,0 дБ × 2,08 дБ), (5,0 дБ × 2,10 %), (2,0 дБ × 5,08 дБ), (3,0 дБ × 5,10 %), (4,0 дБ × 5,10 %), (5,0 дБ × 5,10 %).

Рисунок С.1 — Пример шаблона EF

Приложение D
(справочное)

Эффекты, возникающие в ОВ при изгибах малого радиуса

D.1 Общие положения

В данном приложении указаны некоторые особенности поведения одномодового ОВ, подвергаемого изгибам особо малого радиуса в зависимости от конструкции ОВ. Информация в приложении основана на практическом опыте нескольких изготовителей ОВ.

Эффекты, описанные в данном приложении, могут воздействовать на качество передачи сигнала. Следовательно, рекомендуется, чтобы рабочие характеристики ОВ подтверждались в реальных условиях эксплуатации, например значения длины волны, значения радиуса изгиба и длина изгибаемого волокна.

D.2 Интерференция между распространяющимися и излучаемыми модами

При измерении потерь, вызванных макроизгибами при малых радиусах изгиба, вторичный эффект, возникающий вследствие интерференции между основной распространяющейся модой в сердцевине и излучающими модами, может появляться, если длина изогнутого образца не является достаточной для подавления излучающих мод. При данном эффекте распространяющийся оптический сигнал излучается из сердцевины изогнутого ОВ и отражается обратно от искривленных границ раздела за пределами сердцевины (например, сердцевина — оболочка или оболочка — покрытие, или покрытие — воздух, так же как при так называемом эффекте шепчущей галереи, интерферируя таким образом с распространяющейся модой. При определенных условиях расположения ОВ в нем могут возникать конструктивные и деструктивные эффекты, приводящие к колебаниям в потерях оптического сигнала, вызванных спектральной зависимостью.

Так как существует вероятность влияния этих эффектов на потери в ОВ, то можно применить процесс аппроксимации кривой для обработки спектральных потерь; данная аппроксимация должна основываться на экспоненциальном характере отношения потерь к значению длины волны. При аппроксимации ожидается получение значений, которые могли бы быть получены при значительном уменьшении влияния эффектов интерференции, что могло бы иметь место при проведении испытания на ОВ с некоторым числом оборотов, достаточно большим для подавления эффектов интерференции или использования геля для компенсации эффектов отражения в ОВ. Однако методика аппроксимации позволяет проводить и завершать измерения без использования непрактичных измерительных установок и условий проведения измерений.

Пример данного колебательного поведения и возможная аппроксимирующая кривая (А) представлены на рисунке D.1. Два последовательных размещения ОВ в испытательном устройстве при R = 7,5 мм и восемнадцати изгибах на 180° (размещение ОВ полуоборотами) представлены на графике разными кривыми потерь, но совпадающими с аппроксимирующей кривой.

При проведении аппроксимации при нахождении на графике точек максимума и минимума нужно удостовериться в том, что этих точек достаточное число, например четыре, так чтобы их влияние уравновешивалось.

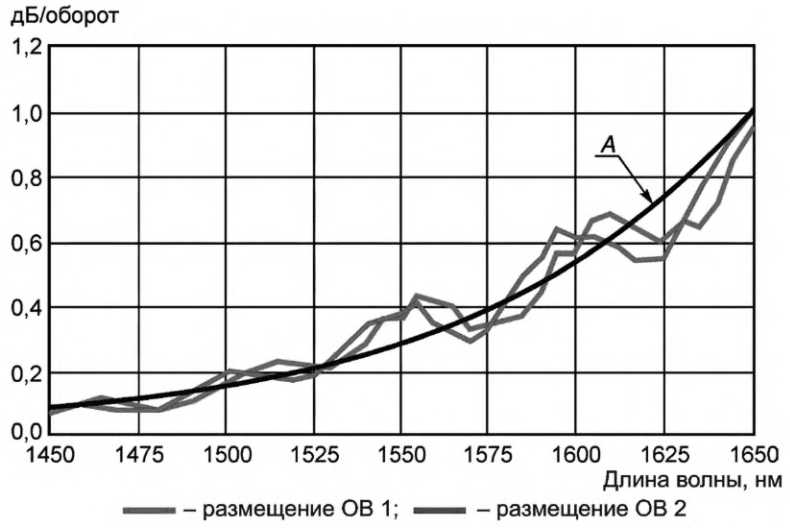


Рисунок D.1 — Кривые потерь в ОВ по отношению к аппроксимирующей кривой

Схожее колебательное поведение можно наблюдать в случае фиксированного значения длины волны для изменяющегося значения радиуса и/или для изменяющейся температуры; в этом случае также возможно применение методики аппроксимации:

- потери, вызванные изгибом (дБ) = $Ae^{\alpha \cdot \lambda}$; потери, вызванные изгибом (дБ) = Be^{-Br}.

Вследствие статистической природы (до некоторой степени) явления интерференции рекомендуется проводить аппроксимацию кривой от точки начала потерь, вызванных изгибами ОВ, для установленной длины волны.

Для оптимизации аппроксимирующей кривой по данным измерения используют разные методы. Хорошо известен метод наименьших квадратов, при использовании которого минимизируется сумма квадратов разностей между измеренным и аппроксимированным значениями. В других случаях, например, минимизируют «среднее минус медианное» — разность между измеренным и аппроксимированным значениями или минимизируют «среднее» или «медианное» между измеренным и аппроксимированным значениями. Для аппроксимации кривой могут использоваться такие инструменты, как Excel Solver.

Если вышеуказанным методом не удается получить аппроксимирующую кривую, то используют другие методы:

$$\gamma = A^{\alpha\lambda}, \tag{D.1}$$

где γ — потери, вызванные изгибами, дБ.

Для представления аппроксимирующей кривой в виде линейного графика берут натуральный логарифм от левой и правой стороны вышеуказанной формулы

$$\ln[\gamma] = \alpha\lambda \cdot \ln A, \tag{D.2}$$

где γ — потери, вызванные изгибами, дБ.

Построение аппроксимирующей кривой в виде линейного графика с использованием метода наименьших квадратов дает возможность использования относительно простого аналитического выражения. Это выражение упрощает расчеты в реальном времени аппроксимирующих коэффициентов при проведении измерения. Недостатком данного метода вследствие применения натурального логарифма является то, что предпочтение отдается измеренным значениям для более низких значений длины волны, в то время как для анализа представляют интерес области больших значений длины волны, например 1550 нм и 1625 нм. Данная проблема может быть решена с использованием метода взвешенных наименьших квадратов, при котором значениям потерь для больших длин волн соответствуют большие весовые коэффициенты.

Все описанные методы обеспечивают хорошую корреляцию аппроксимированных графиков с измеренными значениями. Более важно, что из этих графиков можно получить с достаточной точностью значения потерь, вызванных изгибами, для установленных значений длины волны, например 1550 нм и 1625 нм.

Интерференция между фундаментальной модой и модами в оболочке и поглощающем покрытии может быть устранена путем измерения потерь в ОВ, имеющем изгибы, при его погружении в жидкость, имеющую показатель преломления выше, чем показатель преломления наружного покрытия ОВ. При проведении измерений в таких условиях можно получить хорошие результаты измерения собственных потерь ОВ вследствие изгибов, которые могут использоваться для оценки методов оптимизации аппроксимирующей кривой.

Точность аппроксимации кривой зависит от диапазона длин волн, используемого при измерениях, и общего количества полученных точек. Большее количество точек повышает точность аппроксимации. При этом на измерения, по результатам которых получены эти точки, не должны влиять вводимые моды высоких порядков.

D.3 Поляризационные эффекты

При измерении потерь, вызванных макроизгибами при очень малых значениях радиуса изгиба, поляризация распространяющегося или излучаемого света может влиять на результат измерения. Так как свет, выходящий из волокна, несколько раз отражается от разных границ раздела (например, оболочка — покрытие, покрытие — воздух, покрытие — контактирующие материалы), то поляризация в некоторой степени может присутствовать даже при использовании неполяризованных источников света. Такие потери, вызываемые поляризацией (PDL), являются функцией от значения длины волны и должны учитываться при сравнении результатов, полученных при разных измерениях или в разных лабораториях.

D.4 Повреждения, вызываемые высокой мощностью излучения источника

В некоторых экстремальных условиях (очень высокая мощность излучения источника, очень крутые изгибы) температура покрытия и стекла может подниматься до очень высоких значений, в конечном итоге приводя к разрушению покрытия и стекла. Однако данные экстремальные условия не являются типовыми при развертывании и эксплуатации стандартных телекоммуникационных сетей. Подробная информация об этом явлении приведена в *[4]*.

Приложение Е
(справочное)

Аппроксимация потерь при макроизгибах с использованием параллельных плит (двухточечная аппроксимация)

Е.1 Общие положения

В данном приложении описан порядок проведения двухточечного измерения потерь, вызванных макроизгибами, только для одномодовых ОВ. Данное измерение не является альтернативой соответствующим нормативным испытаниям. Двухточечное измерение потерь, вызванных макроизгибами, может использоваться для аппроксимации фактических потерь, вызванных макроизгибами, для широкого диапазона длин волн для разных фактических изгибов. Используют термин «фактический», так как при применении данного метода изгиб ОВ приобретает не круглую форму, а форму, близкую к параболе.

Данное измерение используют для сравнения разных типов одномодовых ОВ при условии приблизительного соответствия оптических характеристик. По сравнению с нормативным испытанием по измерению потерь, вызванных макроизгибами, результаты двухточечного измерения отличаются — получают более высокие значения потерь при большем разбросе.

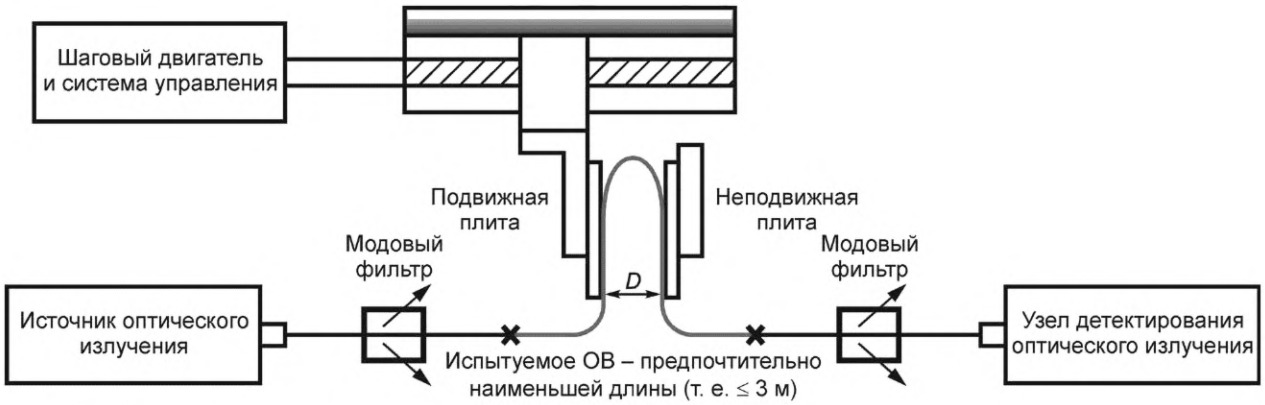
Е.2 Образец

Образец должен иметь достаточную длину для обеспечения соответствующего соединения с измерительной системой и размещения в измерительном устройстве. Оставшаяся длина ОВ не должна влиять на результаты измерения при оптимизированном отношении сигнал/шум.

Е.3 Испытательное устройство

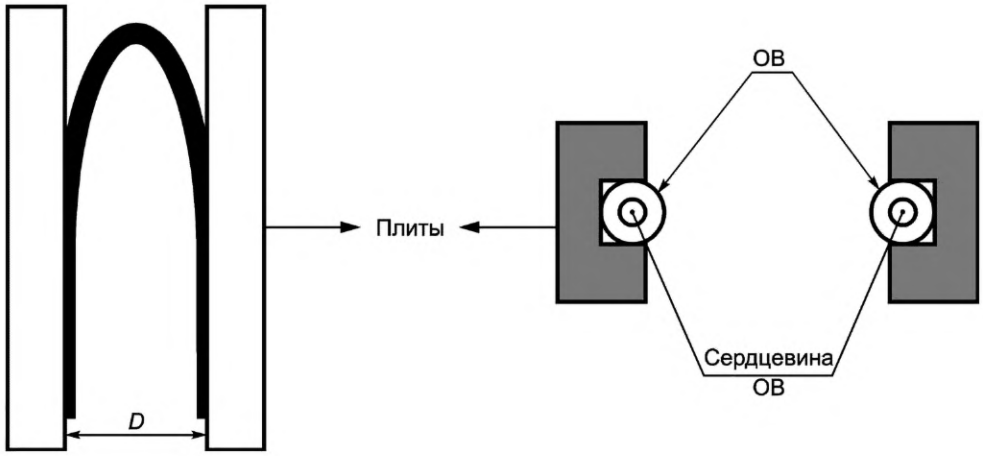
Е.3.1 Общие положения

Вариант испытательного устройства приведен на рисунке Е.1. Испытательное устройство предназначено для измерения амплитудно-частотной характеристики оптического сигнала в испытуемом ОВ при разных контролируемых условиях изгиба.



✖ – оптическое соединение, выполненное методом сварки, имеющее малые потери

а) Вариант испытательного устройства для измерения потерь, вызванных макроизгибами, с использованием параллельных плит (двухточечное измерение)



b) Параллельные плиты (вид сбоку)

c) Параллельные плиты (вид сверху) с указанием направляющих канавок для размещения ОВ

Рисунок Е.1 — Схематичное изображение варианта (при двухточечном изгибе ОВ) испытательного устройства

Приближенное значение фактического радиуса изгиба R_{eff} можно получить из следующего выражения:

$$R_{eff} = \frac{D-d}{2(1{,}198)}, \quad (E.1)$$

где D — расстояние между поверхностями, контактирующими с ОВ;

d — диаметр ОВ.

Примечание — Данная аппроксимация не эквивалентна радиусу изгиба, определенному с использованием нормативных методов измерения потерь, вызванных макроизгибами.

Е.3.2 Управление шаговым двигателем

В данном устройстве предусмотрено точное, надежное, повторяемое, механизированное управление столом с линейным перемещением. Повторяемость размера шага, обеспечиваемого шаговым двигателем, соответствует требованиям к изгибанию ОВ.

Е.3.3 Подвижная плита

Подающий винт преобразует вращательное движение шагового двигателя в линейное перемещение подвижной плиты.

Е.3.4 Неподвижная плита

В данном устройстве у неподвижной плиты удерживается ОВ.

Е.4 Проведение испытания

a) Источник оптического излучения соединяют с одним концом ОВ и измеряют эталонное значение оптической мощности с использованием системы детектирования, соединенной с другим концом ОВ.

Испытуемое ОВ должно быть смотано неплотно, без макроизгибов.

b) Испытуемое ОВ размещают между двух параллельных плит, причем его секция, находящаяся непосредственно между плитами, должна иметь форму полупетли.

Каждая плита имеет неглубокую канавку вдоль продольной оси, являющуюся направляющей для ОВ. ОВ располагают между плитами на дне направляющих канавок. Так как расстояние между плитами меняется, то при использовании направляющих канавок длина ОВ между плитами также будет изменяться для сохранения изгиба в виде полупетли. Таким образом, исключается необходимость ручной регулировки длины изгибаемой части ОВ для сохранения формы полупетли. Изгибаемая секция ОВ находится в ненапряженном состоянии, образуя естественный изгиб.

Дополнительным преимуществом данного метода является упрощение нагружения ОВ после эталонного измерения без нарушения соединения с источником и детектором сигнала.

Также могут использоваться V-образные канавки при условии, что расстояние между двумя сторонами ОВ, размещенного между плитами, удовлетворяет желаемому диаметру изгиба.

c) Измеряют уровень мощности, проходящей через испытуемое ОВ.

Оптические потери, вызванные изгибами, допускается измерять с использованием спектрального затухания в установленном диапазоне длин волн. Это позволяет получить данные на любых длинах волн, представляющих интерес. Потери как функция длины волны могут быть представлены графически для определения этой зависимости для каждого фактического радиуса изгиба. Пример одного из таких графиков приведен на рисунке В.2.

d) Подвижную плиту отодвигают в следующее, заранее определенное положение. При каждом дополнительном перемещении проверяют положение испытуемого ОВ и измеряют уровень мощности.

При каждом шаге перемещения регулируют длину ОВ между плитами для поддержания полуоборота приблизительно постоянного радиуса.

Приблизительное значение фактического радиуса изгиба определяют с использованием уравнения Е.1.

e) Процедуру повторяют до получения измерений для всех положений.

Е.5 Расчеты

Порядок проведения расчетов потерь указан в разделе 7.

Е.6 Результаты

a) Единицу измеренных значений указывают в отчете как дБ/оборот.

b) Аппроксимация измеренных значений может быть проведена любым соответствующим методом.

Пример 1 — Рассчитанные данные потерь, как функции фактического диаметра изгиба, $2 \cdot R_{eff} = D_{eff}$, для конкретных значений длины волны могут быть аппроксимированы простой экспоненциальной функцией и представлены в виде графика на логарифмической шкале (см. рисунок Е.2).

Примечание — При низком уровне потерь, вызванных изгибами, шумы могут осложнить процесс аппроксимации.

Не рекомендуется проводить экстраполяцию фактических значений диаметра изгиба за пределы испытательного диапазона.

Пример 2 — Для определения приблизительных потерь рассчитанные спектральные данные потерь можно представить графически в виде функции длины волны для указанного фактического изгиба (см. рисунок Е.3).

c) Данные могут быть аппроксимированы в виде экспоненциальной кривой с целью сглаживания их разброса, обусловленного наличием обычных мод типа шепчущей галереи.

Также могут использоваться дополнительные средства статистической обработки данных, например использование доверительных интервалов.

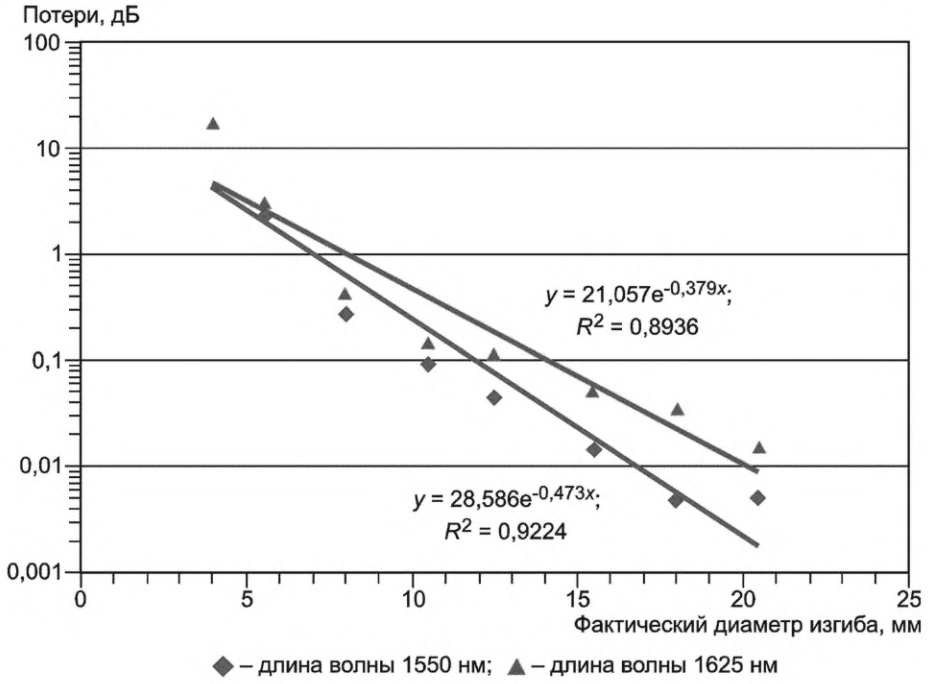


Рисунок Е.2 — Пример применения экспоненциальной аппроксимации к спектральным данным для ОВ подкатегории B6_a2

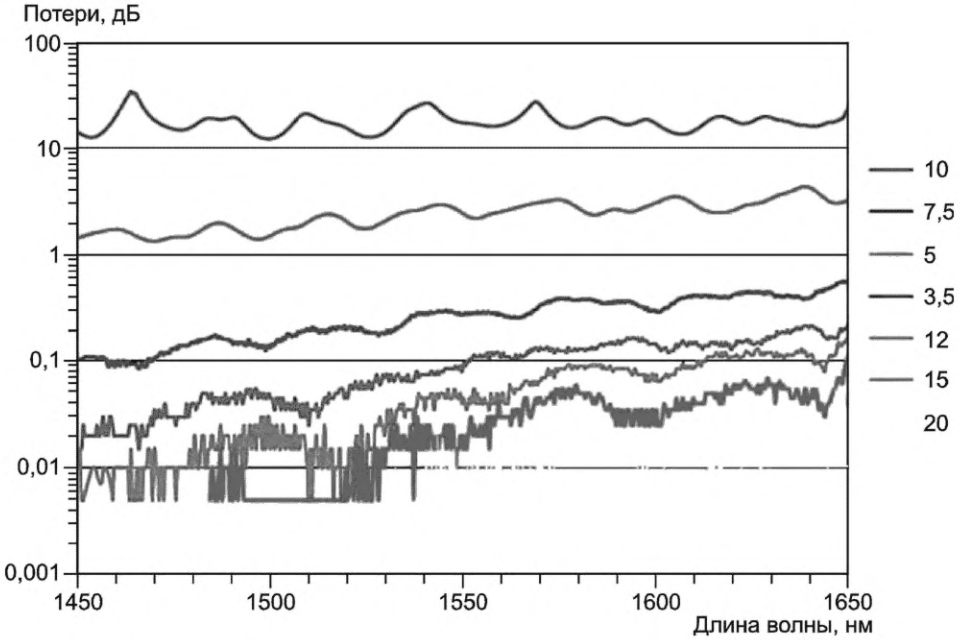


Рисунок Е.3 — Пример данных двухточечного измерения для ОВ подкатегории B6_a2

Е.7 Сравнение результатов с результатами нормативного испытания

Необходимо учитывать, что результаты этого измерения не эквивалентны результатам, полученным из нормативных испытаний на макроизгиб. В таблице Е.1 показаны различия, которые могут возникать между двумя методами испытания. Результаты двухточечного измерения отличаются от результатов нормативного испытания.

Также необходимо учитывать, что двухточечное измерение не применяют при измерении низкого уровня потерь, вызванных макроизгибами, менее 0,5 дБ, например потерь при изгибе большого радиуса и/или потерь в ОВ, нечувствительном к изгибам. Результаты двухточечного метода отличаются большим разбросом при измерении потерь, вызванных макроизгибами.

Таблица Е.1 — Отношение результатов измерений потерь в ОВ подкатегории B6_b3 диаметром 10 мм, полученных с использованием нормативного метода А (при намотке испытуемого ОВ на оправку) и двухточечного метода измерения с использованием параллельных плит

ОВ	Отношение результатов измерений с использованием двух методов	
	для длины волны 1550 нм	для длины волны 1625 нм
A	0,99	0,93
B	0,89	0,90
C	1,07	0,97
D	1,21	1,17
E	0,82	0,89
F	0,97	1,07
G	0,84	0,84
H	1,06	1,07
I	1,08	1,05
J	1,15	1,24
K	1,51	1,21
L	1,10	1,04
Примечание — Каждое значение представляет собой среднее из результатов пяти измерений.		

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст измененных и невключенных структурных элементов МЭК 60793-1-47:2017

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 60793-1-47:2017. При этом изменены пункты 4.3.1, 4.3.2.4, С.2 и исключены таблицы приложения С: С.2, С.3, С.4 и С.5 примененного международного стандарта, которые преждевременно применять в национальной стандартизации в связи с тем, что приборы, используемые в Российской Федерации (в данном случае в кабельной промышленности), не могут обеспечить выполнение данных требований.

Аутентичный текст пунктов 4.3.1, 4.3.2.4, С.2 и таблицы приложения С: С.2, С.3, С.4 и С.5 стандарта МЭК 60793-1-47:2017 приведен ниже.

ДА.1 Измененные структурные элементы

Пункт 4.3.1 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 (между 50 % интенсивности излучения используемых источников), чтобы эта линия была узкой, например менее 10 нм, и сравнимой с любым элементом спектрального затухания в ОВ. ОВ располагают на одной оси с конусом ввода излучения или соединяют его с возбуждающим ОВ.».

Пункт 4.3.2.4 Схема ввода излучения (возбуждения) для многомодовых ОВ категорий А2—А4

Второй абзац:

«Необходимо обеспечить воспроизводимость результатов измерения затухания в многомодовых ОВ. Следовательно, необходимо иметь четкое описание схемы возбуждения. Такая схема может состоять из коммерчески доступных оптических компонентов, обеспечивающих размеры светового пятна и числовую апертуру возбуждения в соответствии со значениями, приведенными в таблице 1.

Длина волны, на которой проводят измерения, должна быть откалибрована с точностью ±10 нм.»

Приложение С. Пункт С.2 Предельные значения EF

Второй абзац

«Предельные значения EF определяются значением идеального ближнего поля и комплекса связанных условий, обеспечивающих ограничение изменений затухания в результате флюктуаций источника оптического излучения на ± 10 % или ± X дБ (в зависимости от того, какое значение больше) до уровня, который может быть обеспечен при наличии идеального ввода оптического излучения. Только лишь потери в результате разъемного соединения могут привнести отличия для этих значений затухания.»

Шестой абзац:

«Переменная X представляет собой предельное значение допуска, который зависит от размера сердцевины ОВ и длины волны в соответствии со значениями, приведенными в таблице С.1.»

ДА.2 Исключенные структурные элементы

Последний абзац перед таблицами и таблицы С.2—С.5

«Требования к EF представлены в виде табличных значений для каждого комплекта радиальных значений, для каждой комбинации типа ОВ и длины волны. Эти предельные значения приведены в таблицах С.2—С.5.

Таблица С.2 — Требования к EF для ОВ с сердцевиной диаметром 50 мкм, λ = 850 нм

Радиус, мкм	Нижнее предельное значение EF	Идеальное значение EF	Верхнее предельное значение EF
10	0,278 5	0,335 0	0,391 5
15	0,598 0	0,655 0	0,711 9
20	0,910 5	0,919 3	0,929 5
22	0,969 0	0,975 1	0,981 2

Таблица С.3 — Требования к EF для ОВ с сердцевиной диаметром 50 мкм, λ = 1300 нм

Радиус, мкм	Нижнее предельное значение EF	Идеальное значение EF	Верхнее предельное значение EF
10	0,279 2	0,336 6	0,394 0
15	0,599 6	0,656 7	0,713 8
20	0,907 2	0,918 6	0,930 0
22	0,966 3	0,972 8	0,979 3

Таблица С.4 — Требования к EF для ОВ с сердцевиной диаметром 62,5 мкм, λ = 850 нм

Радиус, мкм	Нижнее предельное значение EF	Идеальное значение EF	Верхнее предельное значение EF
10	0,168 3	0,210 9	0,253 5
15	0,369 5	0,439 0	0,508 5
20	0,633 7	0,692 3	0,750 9
26	0,924 5	0,935 0	0,945 5
28	0,971 0	0,978 3	0,985 6

Таблица С.5 — Требования к EF для ОВ с сердцевиной диаметром 62,5 мкм, λ = 1300 нм

Радиус, мкм	Нижнее предельное значение EF	Идеальное значение EF	Верхнее предельное значение EF
10	0,168 0	0,211 9	0,255 8
15	0,369 9	0,440 9	0,511 9
20	0,636 9	0,694 5	0,752 1
26	0,925 4	0,935 7	0,946 0
28	0,970 8	0,978 2	0,955 6

Приложение ДБ
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДБ.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего международного стандарта
ГОСТ Р МЭК 60793-1-1 2018	IDT	IEC 60793-1-1:2017 «Волокна оптические. Часть 1-1. Методы измерений и проведение испытаний. Общие положения и руководство»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-20—2012	IDT	IEC 60793-1-20:2001 «Волокна оптические. Часть 1-20. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия волокна»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-21—2012	IDT	IEC 60793-1-21: 2001 «Волокна оптические. Часть 1-21. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия покрытия»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-22—2012	IDT	IEC 60793-1-22:2001 «Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-30—2010	IDT	IEC 60793-1-30:2010 «Волокна оптические. Часть 1-30. Методы измерений и проведение испытаний. Проверка прочности оптического волокна»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-31—2010	IDT	IEC 60793-1-31:2010 «Волокна оптические. Часть 1-31. Методы измерений и проведение испытаний. Прочность при разрыве»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-32—2010	IDT	IEC 60793-1-32:2010 «Волокна оптические. Часть 1-32. Методы измерений и проведение испытаний. Снятие защитного покрытия»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-33—2014	IDT	IEC 60793-1-33:2001 «Волокна оптические. Часть 1-33. Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-34—2016	IDT	IEC 60793-1-34:2006 «Волокна оптические. Часть 1-34. Методы измерений и проведение испытаний. Собственный изгиб волокна»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-40—2012	IDT	IEC 60793-1-40:2001 «Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-41—2012	IDT	IEC 60793-1-41:2001 «Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-42—2013	IDT	IEC 60793-1-42:2007 «Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-43—2013	IDT	IEC 60793-1-43:2007 «Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-44—2013	IDT	IEC 60793-1-44:2011 «Волокна оптические. Часть 1-44. Методы измерений и проведение испытаний. Длина волны отсечки»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-45—2013	IDT	IEC 60793-1-45:2001 «Волокна оптические. Часть 1-45. Методы измерений и проведение испытаний. Диаметр модового поля»

Окончание таблицы ДБ.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего международного стандарта
ГОСТ Р МЭК 60793-1-46—2014	IDT	IEC 60793-1-46:2001 «Волокна оптические. Часть 1-46. Методы измерений и проведение испытаний. Контроль изменений коэффициента оптического пропускания»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-48—2014	IDT	IEC 60793-1-48:2009 «Волокна оптические. Часть 1-48. Методы измерений и проведение испытаний. Поляризационная модовая дисперсия»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-49—2014	IDT	IEC 60793-1-49:2006 «Волокна оптические. Часть 1-49. Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная задержка мод»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-50—2015	IDT	IEC 60793-1-50:2014 «Волокна оптические. Часть 1-50. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания влажным теплом (установившийся режим)»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-51—2015	IDT	IEC 60793-1-51:2014 «Волокна оптические. Часть 1-51. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания сухим теплом (установившийся режим)»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-52—2015	IDT	IEC 60793-1-52:2014 «Волокна оптические. Часть 1-52. Методы измерений и проведение испытаний. Испытания на воздействие смены температур»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-53—2015	IDT	IEC 60793-1-53:2014 «Волокна оптические. Часть 1-53. Методы измерения и проведение испытаний. Испытания погружением в воду»
ГОСТ Р МЭК 60793-1-54—2015	IDT	IEC 60793-1-54:2012 «Волокна оптические. Часть 1-54. Методы измерения и проведение испытаний. Гамма-излучение»
ГОСТ Р МЭК 60793-2—2018	IDT	IEC 60793-2:2015 «Волокна оптические. Часть 2. Технические требования к изделию. Общие положения»
ГОСТ Р МЭК 60793-2-10—2018	IDT	IEC 60793-2-10:2017 «Волокна оптические. Часть 2-10. Технические требования к изделию. Групповые технические требования к многомодовым волокнам категории А1»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичные стандарты.		

Библиография

[1] ITU-T G Suppl. 59:2016 Дополнение к рекомендациям. Руководство по надежности оптического волокна и кабеля (Guidance on optical fibre and cable reliability)

[2] МЭК 61280-1-4:2009 Методики испытаний подсистем волоконно-оптической связи. Часть 1-4. Общие подсистемы связи. Метод измерения обведенного потока света источника (Fibre optic communication subsystem test procedures — Part 1-4: General communication subsystem — Light source encircled flux measurement method)

[3] IEC 61280-4-1:2019 Методики испытаний подсистем волоконно-оптической связи. Часть 4-1. Кабельный участок и каналы связи. Измерение затухания на многомодовом волоконно-оптическом кабельном участке (Fibre optic communication subsystem test procedures — Part 4-1: Installed cable plant — Multimode attenuation measurement)

[4] IEC TR 62547 Руководящие указания по измерению чувствительности к повреждениям, вызываемым высокой мощностью излучения источника одномодовых волокон при изгибах. Руководство для интерпретации результатов (Guidelines for the measurement of high-power damage sensitivity of single-mode fibre to bends — Guidance for interpretation of results)

УДК 681.7.068:006.354 ОКС 33.180.10

Ключевые слова: волокна оптические, потери, макроизгибы, испытательное оборудование, методы испытаний, обработка результатов

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 14.06.2022. Подписано в печать 17.06.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,76.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru