ГОСТ Р МЭК 793—1—93

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Издание официальное

БЗ 10—92/1031

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

ГОСТ Р МЭК 793—1—93

УДК 681.7.068:006.354 Группа Э59

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Общие технические требования

Optical fibres.
Generic specification

ОКСТУ 6600

Дата введения 1995—01—01

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Настоящий стандарт распространяется на оптические волокна с первичным покрытием или первичным буферным покрытием, применяемые в системах дальней связи и в системах с использованием аналогичной техники.

Требования настоящего стандарта являются обязательными.

2. НАЗНАЧЕНИЕ

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к геометрическим, оптическим, передающим, механическим характеристикам и стойкости к воздействию внешних факторов для оптических волокон.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В стадии рассмотрения.

4. КАТЕГОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

4.1. Класс А. Многомодовые волокна

Категории волокон подразделяют через параметр g, характеризующий профиль показателя преломления.

Издание официальное

© Издательство стандартов, 1994

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения Госстандарта России

Нормализованный профиль показателя преломления выражается соотношением

$$\delta(x) = 1 - x^g,$$

где

$$\delta(x) = \frac{n(x) - n(1)}{n(0) - n(1)},$$

$n(x)$ — показатель преломления в точке x,

$$x = \frac{r}{a} \quad (0 \leqslant r \leqslant a),$$

a — радиус сердцевины.

Таблица 1

Категории многомодовых волокон

Категория	Материал	Тип	Диапазон
A1	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	Волокно с градиентным показателем преломления	$1 \leqslant g < 3$
A2.1	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	Волокно с квазиступенчатым* показателем преломления	$3 \leqslant g < 10$
A2.2	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	Волокно со ступенчатым* показателем преломления	$10 \leqslant g < \infty$
A3	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	Волокно со ступенчатым* показателем преломления	$10 \leqslant g < \infty$
A4	Полимерное волокно	—	

* В некоторых областях применения g может быть функцией x.

Категория волокна определяется через значение g, наилучшим образом соответствующее нормализованному профилю показателя преломления, входящему в категорию, указанную в табл. 1.

4.2. Одномодовые волокна класса В

Одномодовые волокна характеризуются следующими параметрами.

4.2.1. Диаметр модового поля, для которого существуют два определения:

а) ширина участка кривой радиального распределения интенсивности пропускаемого излучения на уровне $1/e$ максимального значения амплитуды.

Примечания:

1. Для Гауссова распределения модового поля указанный диаметр равен ширине кривой распределения амплитуды оптического поля на уровне $1/e$ и ширине кривой распределения оптической мощности (интенсивности) в точке $1/e^2$.

2. Определение зависимости передаваемой мощности от смещения:

$$T=\left|\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi} E(r,\Theta)\cdot E(r',\Theta')\cdot r d\Theta dr\right|^2,$$

где $E(r, \Theta)$ есть нормализованное (при $T=1$ для $d=0$) распределение поперечного поля, описанное с помощью цилиндрических полярных координат и $E(r', \Theta')$ есть это же нормализованное поле с переменной смещения d в установленном направлении Θd.

Номинальное значение диаметра модового поля должно соответствовать указанному в технических условиях на изделие. Следует отметить, что эксплуатационные характеристики волокна, необходимые для указанной области применения, зависят от основных параметров волокна и системы, т. е. от диаметра модового поля, длины волны отсечки и общей дисперсии, а не столько от конструкции волокна;

б) в методе передаваемых полей диаметр модового поля ($2W_0$) определяется с помощью следующих величин:

$f(r)$ — распределение (квадратный корень из значения интенсивности) ближнего поля;

$$q=\sin\Theta/\lambda;$$

Θ — угловая координата в дальнем поле;

$F(q)$ — распределение дальнего поля (квадратный корень из значения интенсивности);

$$g(r)=(2/w)\exp(-r^2/w^2); \quad (1)$$

$$G(q)=(2/W)\exp(-q^2/W^2); \quad (2)$$

$$W=1/\pi w. \quad (3)$$

После измерения $f(r)$ или $F(q)$ можно подобрать $g(r)$ или $G(q)$ для того, чтобы довести до максимума интегралы перекрытия.

$$\frac{\left[\int_0^{\infty} rf(r)g(r)dr\right]^2}{\int_0^{\infty} rf^2(r)dr\int_0^{\infty} rg^2(r)dr}=\frac{\left[\int_0^{\infty} qF(q)G(q)dq\right]^2}{\int_0^{\infty} qF^2(q)dq\int_0^{\infty} qG^2(q)dq}. \quad (4)$$

Величина w в вычисленной таким образом $g(r)$ (или W в вычисленной $G(q)$, преобразованная в w с помощью уравнения (3)), определяется затем как радиус модового поля (w_0), равный половине диаметра модового поля.

Это определение математически эквивалентно минимизации отклонения по методу наименьших квадратов на плоскости, перпендикулярной к оси волокна.

$$\int_0^\infty r[f(r)-g(r)]^2dr = \int_0^\infty q[F(q)-G(q)]^2dq. \qquad (5)$$

Данное определение диаметра модового поля дает совпадающие результаты в ближнем и дальнем полях и дает четыре математически эквивалентных способа определения w_0:

1) измерение ближнего поля $f(r)$ и максимизация левой части равенства (4) по отношению к функции Гаусса;

2) измерение ближнего поля $f(r)$ и минимизация левой части равенства (5) по отношению к функции Гаусса;

3) измерение дальнего поля $F(q)$ и максимизация правой части равенства (4) для получения W; вычисление w по уравнению (3);

4) измерение дальнего поля $F(q)$ и минимизация правой части равенства (5) для получения W; вычисление w по уравнению (3).

Примечания:

1. Диаметр модового поля определяется для основной моды испытуемого волокна.

2. Для Гауссова распределения мощности

$$f(w_0)/f(0)=1/e$$

3. Следует обратить внимание на то, что измеренное значение обычно есть не $f(r)$, а $f^2(r)$, которое пропорционально оптической мощности.

4.2.2. *Длина волны отсечки*

Длина волны отсечки представляет собой длину волны, при превышении которой соотношение между общей мощностью, включая излучаемые моды высшего порядка, и мощностью основной моды уменьшается до значения менее заданного, причем моды возбуждаются, в основном, равномерно.

Примечание. По определению заданное значение выбрано 0,1 дБ для прямого отрезка волокна длиной 2 м, включая одну петлю радиусом 140 мм.

4.2.3. *Общая дисперсия*

Общая дисперсия есть зависимость параметра распространения от длины волны. Если источник имеет конечную ширину спектральной линии, дисперсия является причиной искажения сигнала. Общая дисперсия возникает в результате:

дисперсии материала;

дисперсии волновода.

Максимальное значение коэффициента общей дисперсии и, если требуется, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне волн указывают в технических условиях на изделие.

4.2.4. *Категории одномодовых волокон*

В табл. 2 указаны категории используемых в настоящее время одномодовых волокон.

Таблица 2

Категории одномодовых волокон

Категория	Материал	Номинальная длина волны нулевой дисперсии, нм	Номинальная нормируемая длина волны, нм
B1.1	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	1300	1300
B1.2	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	1300	1550
B2	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	1550	1550
B3	Стеклянная сердцевина, стеклянная оболочка	1300 и 1550	1300 и 1550

Примечания:

1. Одномодовые волокна определенной категории могут состоять из различных материалов и иметь различные профили показателей преломления. Для определенных методик сращивания указанные отличия могут вызвать чрезмерные потери при сращивании волокон разных типов.

В технических условиях на изделие должно быть это отмечено.

2. Одномодовое волокно может быть применено для работы на длине волны, отличной от длины волны нулевой дисперсии.

4.3. Другие классы волокон

Для рассмотрения в будущем.

5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Конструкция, размеры, механические и оптические свойства, характеристики передачи, материалы и поведение во внешней среде оптического волокна каждого типа соответствуют указанным в технических условиях.

6. ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Торцы волокон должны быть достаточно чистыми, гладкими и перпендикулярными к оси волокна.

7. КАТЕГОРИИ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

а) Измерение параметров.
б) Определение характеристик.
в) Контрольные испытания.

II. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ

8. НАЗНАЧЕНИЕ

Методы измерений регламентируют практическое измерение длины и размеров поперечного сечения оптического волокна. Методы используются для проверки волокон, предназначенных для использования в коммерческих целях.

Размеры оптических волокон определяют путем проведения испытаний образцов в соответствии с табл. 3.

Проводимые испытания, требования к образцам при их приемке и число образцов указаны в технических условиях.

Табл. 3 включает все категории волокон, но не все виды испытаний должны применяться для данной категории волокон.

Таблица 3

Размеры оптических волокон

Номер метода испытания	Наименование метода испытания	Определяемые характеристики
A1	Преломление в ближнем поле	Диаметр сердцевины, диаметр оболочки, некруглость, неконцентричность
A2	Распределение света в ближнем поле	Диаметр сердцевины, диаметр оболочки, диаметр первичного покрытия, диаметр защитного покрытия, некруглость, неконцентричность
A3	Четыре концентрических круга	Диаметр сердцевины, диаметр оболочки, некруглость, неконцентричность
A4	Механическое измерение	Диаметр оболочки, диаметр первичного покрытия, диаметр защитного покрытия, некруглость
A5	Механическое измерение длины (в стадии рассмотрения)	Длина волокна
A6	Измерение длины путем определения времени задержки переданного и (или) отраженного импульса	Длина волокна

Примечания:

1. Метод ближнего поля непосредственно реализует определение сердцевины через профиль показателя преломления. Данный метод позволяет получить профиль показателя преломления, по которому могут быть определены размеры и числовая апертура.

2. С помощью распределения света в ближнем поле получаемые размеры связаны с профилем показателя преломления, но не имеют точного соответствия определению диаметра сердцевины.

3. Метод четырех концентрических кругов является контрольным испытанием, обычно основанным на распределении света в ближнем поле. Он не может использоваться для измерения действительных значений размеров волокна.

4. Для размеров, относящихся к параметрам передачи одномодовых волокон (например, диаметр модового поля, концентричность модового поля), делается ссылка на разд. 4 «Методы измерения передающих и оптических параметров» настоящего стандарта.

5. Для практических целей диаметр сердцевины одномодовых волокон, как правило, не нормируется.

6. Определение диаметра сердцевины одномодовых волокон находится в стадии рассмотрения.

9. ЭТАЛОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Эталонная поверхность указывается в технических условиях и ею могут быть поверхности сердцевины, оболочки, первичного покрытия, буферного покрытия.

10. ПОГРЕШНОСТЬ КОНЦЕНТРИЧНОСТИ

Неконцентричность может быть определена для любых двух указанных выше диаметров и указывается в технических условиях.

11. ДОПУСКИ

Допуски для диаметров указываются в технических условиях. Допускается ссылка на метод испытаний А3 «Четыре концентрические окружности (как контрольное испытание)».

12. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В стадии рассмотрения.

13. МЕТОД А1. ПРЕЛОМЛЕНИЕ В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ

13.1. Назначение

Измерение в ближнем поле является прямым, точным и позволяет непосредственно измерить показатель преломления в волок-

не (сердцевине и оболочке). Измерение обеспечивает хорошую разрешающую способность, и при калибровании могут быть получены абсолютные значения показателей преломления. Оно может быть использовано для получения профилей как одномодовых, так и многомодовых волокон.

13.2. Устройство для проведения испытания

Схема устройства показана на черт. 1 и 2.

13.2.1. *Источник излучения*

Требуется лазер со стабильным излучением, мощность которого составляет несколько милливатт в TEM_{oo} режиме.

Может быть использован гелиево-неоновый лазер с длиной волны 633 нм, но с применением поправочных коэффициентов с целью экстраполяции на других длинах волны. Следует отметить, что измерение на 633 нм может не дать полную информацию для больших длин волн, в частности, неоднородное распределение добавок в волокне может отрицательно повлиять на коррекцию.

Четвертьволновая пластина используется для изменения линейно-поляризованного излучения на излучение с круговой поляризацией, поскольку отражение на границе воздух-стекло зависит от угла падения и поляризации света.

Точечное отверстие в фокусе линзы 1 служит пространственным фильтром.

13.2.2. *Устройство ввода излучения*

Устройство ввода излучения фокусирует луч света на плоском торце волокна, перекрывая числовую апертуру волокна. Оптическая ось луча света не должна отклоняться от оси волокна более чем на 1°. Разрешающая способность оборудования определяется размером фокусного пятна, которое для получения максимальной разрешающей способности должно быть как можно меньше, например, менее 1,5 мкм. Оборудование позволяет сканировать по диаметру волокна фокусным пятном.

13.2.3. *Ячейка с жидкостью*

Жидкость в ячейке должна иметь показатель преломления, несколько превышающий показатель преломления оболочки волокна.

13.2.4. *Регистрация излучения*

Преломленные лучи света собираются в детекторе любым известным способом, причем должно быть собрано все излучение. С помощью расчетов можно определить требуемый размер диска и его положение на центральной оси.

13.3. Подготовка образца

Необходим отрезок волокна длиной около 1 м.

С участка волокна, помещенного в иммерсионную жидкость, должны быть удалены все покрытия.

Концы волокна должны быть чистыми, гладкими и перпендикулярными к оси волокна.

13.4. Проведение испытаний

Схема испытательного устройства представлена на черт. 2.

13.4.1. *Распределение профиля показателя преломления волокна*

Конец волокна, на котором должны выполняться измерения, помещается в ячейку с жидкостью, показатель преломления которой немного превышает показатель преломления оболочки волокна. Волокно подсвечивается сзади вольфрамовой лампой. Линзы *3* воспроизводят сфокусированное изображение волокна.

С помощью линз *3* центрируется и фокусируется изображение волокна и одновременно лазерный луч центрируется и фокусируется на волокне.

Диск центрируется на выходном конусе. В многомодовом волокне диск устанавливается на оптической оси с целью устранения вытекающих мод. В одномодовых волокнах диск устанавливается для получения оптимальной разрешающей способности.

Преломленные моды, проходящие через диск, собираются и фокусируются на фотодиоде. Сфокусированное лазерное пятно перемещается по торцу волокна, в результате чего можно непосредственно получить распределение изменений показателя преломления волокна.

13.4.2. *Калибровка*

Калибровка оборудования проводится с помощью волокна, извлеченного из ячейки с жидкостью. В процессе измерений угол конуса света изменяется в соответствии с показателем преломления в точке входа в волокно (соответственно изменяется энергия, поступающая на диск). Если волокно удалено, а показатель преломления жидкости и толщина ячейки известны, изменение угла может быть воспроизведено путем параллельного переноса диска вдоль оптической оси. Передвигая диск через ряд заранее определенных положений, можно определить профиль через относительный показатель преломления.

Абсолютные значения показателей преломления, т. е. n_1 и n_2, могут быть определены только в том случае, если точно известен показатель преломления покрытия или жидкости для данной длины волны и температуры, при которой проводятся измерения.

13.4.3. *Результаты*

Должны быть представлены следующие подробные сведения:

испытательная установка и методика коррекции длины волны;

идентификация волокна;

в зависимости от технических требований:

профили по центру сердцевины и покрытия, калиброванные на данной длине волны;

профили по большой и малой осям сердцевины, калиброванные на данной длине волны;

профили по большой и малой осям покрытия, калиброванные на данной длине волны.

С помощью растрового сканирования поперечного сечения профиля могут быть вычислены значения следующих величин:

диаметр сердцевины;

диаметр оболочки;

погрешность концентричности сердцевины и оболочки;

некруглость сердцевины;

некруглость оболочки;

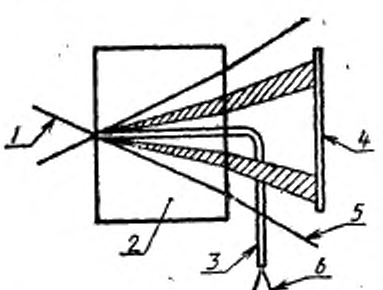
максимальная теоретическая числовая апертура;

разность показателей преломления;

разность относительных показателей преломления;

подтверждение точности и воспроизводимости измерений.

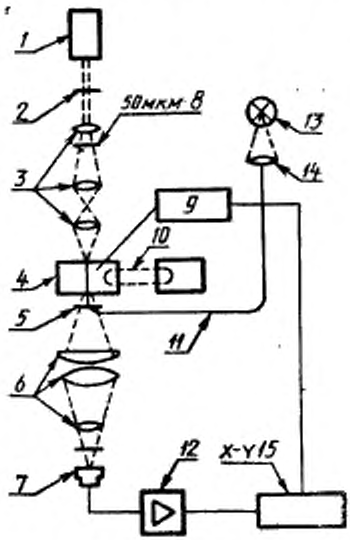
Метод преломления в ближнем поле. Схема



1 — падающий свет, переполняющий числовую апертуру волокна; *2* — ячейка с жидкостью; *3* — волокно; *4* — диск; *5* — только преломленные моды *6* — излучение удержанных мод

Черт. 1

Типовое устройство установки для измерений в ближнем поле



1 — лазер; *2* — четвертьволновая пластинка; *3* — линзы; *4* — ячейка с жидкостью; *5* — диск; *6* — линзы; *7* — фотодиод; *8* — точечное отверстие, 50 мкм; *9* — электронный микрометр; *10* — двигатель; *11* — волокно; *12* — усилитель; *13* — лампа; *14* — линза; *15* — двухкоординатный самописец

Черт. 2

14. МЕТОД А2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТА В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ

14.1. Назначение

Испытание предназначено для входного и (или) выходного контроля. Воспроизведение изображения выполняется на поперечном сечении конца испытываемого волокна.

Изображение увеличивается с помощью выходной оптики, например, микроскопа и регистрируется (непосредственный осмотр, фотокамера, цифровой видеоанализатор, сканирующий детектор и т. д.). Оптика и детали могут быть объединены в одном устройстве.

14.2. Подготовка образца

Образец должен представлять собой короткий отрезок оптического волокна, на котором проводятся измерения. Длина должна быть зафиксирована. Концы волокна должны быть чистыми, гладкими и перпендикулярными к оси волокна.

14.3. Аппаратура

14.3.1. *Источник света*

Источник для освещения сердцевины должен быть некогерентным, с регулируемой интенсивностью; его тип должен быть зафиксирован в документации. Второй источник может быть использован для освещения волокна при проведении измерений оболочки.

14.3.2. *Системы регистрации*

Могут использоваться различные системы регистрации в зависимости от типа выполняемых измерений (визуальный осмотр, фотографирование, математическая обработка полученного распределения излучения).

14.3.2.1. *Микроскоп*

Используется инвертированный металлургический или биологический микроскоп с разрешающей способностью, близкой к дифракционному пределу (например, он должен иметь калиброванное увеличение до 600× и должен быть снабжен нитяным микрометром).

14.3.2.2. *Микроскоп с фотокамерой*

Микроскоп, описанный в п. 14.3.2.1, может быть снабжен камерой для микрофотографирования.

Для калибровки размеров на фотографии должна использоваться соответствующая шкала.

14.3.2.3. *Видеоанализатор*

Микроскоп, описанный в п. 14.3.2.1, может быть снабжен телекамерой. Выходной сигнал камеры может быть направлен в телевизионное устройство для визуального осмотра или в видеоанализатор для регистрации полного выходного ближнего поля волокна.

14.3.2.4. *Сканирующий детектор*

Телекамера, описанная в п. 14.3.2.3, может быть заменена фотодетектором с узкой диафрагмой для проведения одного или нескольких сканирований выходного ближнего поля волокна. Сигнал детектора передается в двухкоординатный самописец.

14.4. Проведение испытания

а) Конец образца, с которого получают изображение, должен быть подготовлен и установлен перпендикулярно к оси образца.

б) Числовая апертура и, следовательно, разрешающая сила линзы объектива должны соответствовать требуемой точности из-

мерения. Увеличение должно соответствовать размеру волокна и полю зрения.

в) Источник света должен быть подведен к другому концу образца, который может быть обработан так же, как и первый конец, и установлен так, чтобы изображение на конце волокна было полным и четким. В случае необходимости можно использовать иммерсионную жидкость для подведения оптической мощности от источника к образцу.

14.4.1. *Микроскопия с визуальной регистрацией*

а) Микроскоп калибруется путем измерения длины объекта известных размеров.

б) Параметр измеряемого образца может быть определен с помощью нитяного микрометра и известной процедуры калибровки. Минимальный и максимальный диаметры измеряются путем поворота изображения или шкалы.

14.4.2. *Микроскопия с фотографированием*

а) Для получения четкой фотографии, например, фотографии, где четко видна граница между сердцевиной и покрытием, необходимо выбрать требуемую интенсивность проходящего и падающего света; скорость затвора, диафрагму и пленку.

б) Общее увеличение изображения должно определяться фотографированием шкалы с установленной масштабной линейкой.

в) Размер фотографического изображения должен быть более 30×30 мм. Измеряемый параметр должен определяться по размеру изображения и увеличению.

г) При пользовании шкалой, как это описано в п. 14.3.2.2, прозрачная шкала накладывается на фотографии для измерения.

14.4.3. *Микроскопия с применением видеоанализатора*

а) Выходное поле микроскопа обрабатывается цифровым видеоанализатором, управляемым компьютером, например, сканирующим видиконом, прибором с зарядовой связью (ПЗС), или каким-либо иным устройством опознавания интенсивности изображения.

б) Полное изображение регулируется, а ось, вдоль которой регистрируется изображение, указывается, например, с помощью курсора.

в) Границы определяются с помощью контрастных критериев уровней, сравниваемых со стандартной решеткой с целью получения измеряемых геометрических параметров.

14.4.4. *Микроскопия с применением сканирующего детектора с узкой диафрагмой*

а) Сфокусировать увеличенное изображение сердцевины образца на плоскости.

б) Определить интенсивность увеличенных диаграмм ближнего поля. Например, может быть использовано следующее оборудование:

1) сканирующий детектор с узкой диафрагмой;

2) сканирующее зеркало с детектором с неподвижной узкой диафрагмой.

в) Зарегистрировать интенсивность как функцию положения детектора.

г) Использовать синхронный детектор (или эквивалентное устройство) для усиления сигналов низкого уровня.

д) Сканировать изображение сердцевины волокна или детектора с узкой диафрагмой с помощью шагового двигателя или сканирующего зеркала.

е) Записать интенсивность (сигнал) как функцию положения вдоль диаметра сердцевины.

ж) Микроскоп должен быть калиброван путем измерения длины объекта уже известных размеров.

14.5. Документация

В документации должны быть представлены следующие данные:

тип волокна;

число образцов;

относительная влажность и температура окружающей среды;

описание устройства;

увеличение;

измеряемые параметры;

фотографии или распечатка видеоанализатора, если таковой применяется.

15. МЕТОД А3. ЧЕТЫРЕ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ КРУГА

15.1. Назначение

Метод устанавливает требования к проверке параметров и допусков оптических волокон. Он не пригоден для измерения действительных значений диаметров сердцевины и оболочки, а также овальности и неконцентричности.

Метод позволяет определить, соответствуют ли параметры волокна требованиям технических условий. Метод следует использовать для проверки распространения светового импульса от входа к выходу [illegible].

[illegible] круга, образующих две круго[illegible]
[illegible]

$$D_{CL}+\Delta D_{CL} \qquad D_{CO}+\Delta D_{CO},$$

и

$$D_{CL}-\Delta D_{CL} \qquad D_{CO}-\Delta D_{CO}$$

определяют поле допуска. Волокно считают выдержавшим испытание, если может быть найдено такое положение волокна в поле допуска, чтобы контуры оболочки и сердцевины полностью находились внутри двух круговых зон. Значения D_{CL}, ΔD_{CL}, D_{CO}, ΔD_{CO} устанавливают в технических условиях.

15.2. Подготовка (отбор) образцов

Образец должен представлять собой короткий отрезок оптического волокна. Длина образца должна быть отражена в документации.

15.3. Оборудование

15.3.1. *Источник света*

См. п. 14.3.1

15.3.2. *Микроскоп*

См. п. 14.3.2.1

15.3.3. *Микроскоп с фотокамерой*

См. п. 14.3.2.2

15.3.4. *Видеоанализатор*

См. п. 14.3.2.3. Сравнение между концентрическими кругами и контурами сердцевины и оболочки можно осуществить путем расчета визуально или печатного отображения данных.

15.3.5. *Сканирующий детектор*

См п. 14.3.2.4

15.3.6. *Маска*

В оптической измерительной системе следует использовать маску с четырьмя концентрическими кругами.

Точность маски должна позволять получить на образце точность, предусмотренную техническими условиями.

Следует использовать один из следующих способов:

а) маска в окуляре микроскопа;

б) прозрачная маска, наложенная на фотографию;

в) два отдельных объектива в микроскопе, один — для маски, другой — для образца.

Примечание. Для видеоанализатора металлической маски не требуется.

15.4. Проведение испытания

Подготовленный образец фиксируется в зажиме и с помощью источника света в него подается световое излучение так, чтобы контуры сердцевины и оболочки вырисовывались наиболее отчетливо. Если после манипулирования образцом контуры сердцевины и обо-

лочки одновременно окажутся в двух круговых зонах, то это означает, что образец волокна выдержал испытание. Если необходимо, можно получить фотографию, на которой будет отражена степень соответствия параметров волокна установленным требованиям.

15.5. Документация

В документации должны быть представлены следующие данные:

тип волокна;
число образцов;
относительная влажность и температура окружающей среды;
фотография (при необходимости);
описание прибора, тип микроскопа и маски;
результаты испытаний: выдержал (не выдержал).

16. МЕТОД А4. МЕХАНИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА

16.1. Назначение

Настоящий метод применим для механического измерения диаметра оболочки стеклянного или кварцевого оптического волокна. На практике для гладких и круглых волокон результат измерений аналогичен результатам, полученным по методам А1 и А2, которые также позволяют определить некруглость волокон. Данный метод может быть использован для измерения диаметра покрытия некоторых типов волокон с покрытием или защитной оболочкой или волокон категории А3 или А4.

В данном методе обе стороны изделия контактируют с плоскими параллельными поверхностями, расстояние между которыми точно измеряется.

16.2. Область распространения

Диаметры волокна без покрытия и волокна с покрытием являются основными значениями, которые должны быть известны для выполнения последующих операций, таких как переработка, сращивание, установка соединителей, изготовление кабелей и измерения.

16.3. Испытательное устройство

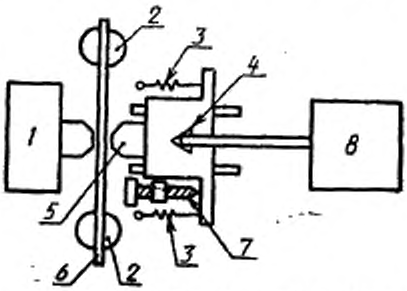
16.3.1. *Общие сведения*

Для выполнения измерений используются два плоских контакта, по одному с каждой стороны волокна. Поверхности контактов должны быть параллельны друг другу, и сила, с которой контакты прижимаются к волокну, должна контролироваться во избежание деформации образца или контактов.

16.3.2. *Устройство для проведения испытания*

Схема испытательного устройства приведена на черт. 3.

Вид электронной микрометрической системы сверху



1 — неподвижный контакт; *2* — держатель образца; *3* — пружина; *4* — щуп; *5* — контакт на прецизионной платформе; *6* — образец; *7* — микрометрический винт; *8* — электронный микрометр

Черт. 3

16.3.2.1. *Контакты*

Имеются два контакта: один неподвижный, другой установлен на прецизионной платформе. Поверхности контактов параллельны друг другу и перпендикулярны к направлению движения платформы. Они изготавливаются из твердых, коррозионностойких материалов, например, из нержавеющей стали или плавленого кварца.

16.3.2.2. *Прецизионная платформа*

Прецизионная платформа удерживает подвижный контакт и щуп электронной микрометрической системы. Платформа передвигается с помощью микрометрического винта; платформа удерживается на винте с помощью пружин. Пружины позволяют сводить контакты вплотную.

16.3.2.3. *Электронная микрометрическая система*

Электронная микрометрическая система, такая как интерферометр двойного хода Михельсона может использоваться со щупом для точного измерения перемещения платформы, и, следовательно, подвижного контакта.

16.3.2.4. *Держатели образца*

Держатели удерживают образец между поверхностями контактов.

16.3.3. *Проведение измерения*

16.3.3.1. *Принцип измерения*

Диаметр образца измеряют с помощью контактов, которые прижимаются к противоположным сторонам образца. Сила, с которой

контакты прижимаются к образцу и которая определяется натяжением пружины платформы и площадью соприкасания с контактами, регулируется таким образом, чтобы деформация образца или контактов была минимальной. Потребитель и изготовитель оговаривает между собой указанные значения для различных материалов.

Например, для волокна из плавленного кварца диаметром 125 мкм данное значение обычно составляет 0,2 Н для контактов с длиной касания с волокном 1 мм.

Промежуток, разделяющий контакты, точно измеряется электронным микроскопом.

16.3.3.2. *Проведение измерения*

Поверхности контактов зачищают и микрометрический винт завинчивают до соприкасания поверхностей контактов друг с другом. Микрометрический винт завинчивают на дополнительный оборот так, чтобы контакты удерживались вместе только натяжением пружины. Показания расстояния на электронном микрометре регистрируют. Затем микрометр регулируют таким образом, чтобы промежуток между поверхностями контактов был больше диаметра образца. Образец волокна устанавливают на держателях между поверхностями контактов. Микрометрический винт медленно поворачивают так, чтобы поверхности контактов соприкоснулись с волокном и удерживались в контакте с ним только за счет натяжения пружин. Показания расстояния на электронном микрометре регистрируют. Разность между первым и вторым показаниями есть диаметр образца. Измерение повторяют несколько раз.

16.3.4. *Результаты*

Для подтверждения воспроизводимости измерений необходимо указывать средний диаметр образца и стандартное отклонение, полученное в результате нескольких измерений.

Некруглость волокна может быть определена с помощью ряда измерений, в процессе выполнения которых волокно вращают после каждого измерения.

17. МЕТОД А5. МЕХАНИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ

В стадии рассмотрения.

18. Метод А6. Измерение длины по времени задержки переданного и (или) отраженного импульса

18.1. Назначение

Метод применяют для измерений длины волокна путем измерения времени распространения оптического импульса или серии им-

пульсов на основе известного значения группового показателя преломления волокна.

Кроме этого, метод используется для определения группового показателя преломления волокна известной длины. Поэтому на практике, при применении данного метода измерения длины волокна производится калибровка относительно известной длины волокна того же типа.

Длина оптического волокна, являясь одним из основных параметров, должна быть известна для определения передающих характеристик, таких как потери и ширина полосы частот.

18.2. Принцип расчета

Время задержки прохождения оптического импульса (Δt) по волокну длиной L, имеющему показатель преломления N, вычисляют по формуле

$$\Delta t = \frac{NL}{c},$$

где Δt — время задержки,

c — скорость распространения света в вакууме.

Если N известен, то при измерении Δt можно определить L; с другой стороны, если известна L, то при измерении Δt можно определить N.

Примечание. Необходимо учитывать допустимые отклонения группового показателя преломления, обусловленные допустимыми отклонениями числовой апертуры.

18.3. Образец

Образцом служит волокно (возможно в кабеле). Значение N следует определить при условиях, установленных при испытании образцов (например натяжении, температуре).

18.4. Оборудование

18.4.1. *Общие сведения*

Существуют два метода измерения времени распространения оптического импульса:

а) измерение времени задержки прохождения оптического импульса (Δt);

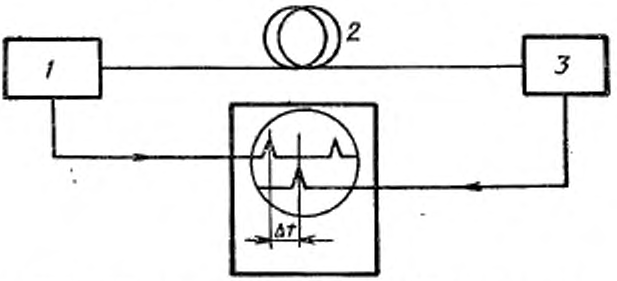
б) измерение времени задержки отраженного импульса ($2\Delta t$).

На черт. 4 представлены две различные схемы, соответствующие двум методам с применением осциллографа для отбора образцов.

Вместо осциллографа может быть [illegible] оборудование, применяемое при образцом, рассеянии [illegible] с отдельным [illegible] способностью [illegible]

Измерение длины волокна с помощью времени распространения оптических импульсов

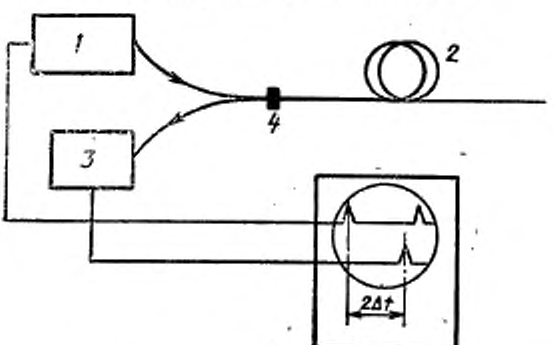
Измерение времени передачи импульса



1 — генератор оптических импульсов; *2* — волокно (N.L.); *3* — оптический приемник

а

Измерение времени отражения импульса



1 — генератор оптических импульсов; *3* — оптический приемник; *2* — волокно (N.L.); *4* — соединительная муфта

б

Черт. 4

18.4.2. *Оптический источник*

а) Измерение с помощью осциллографа.

Генератор оптических импульсов должен представлять собой лазерный диод большой мощности, возбуждаемый генератором серией электрических импульсов, с настраиваемой частотой и шириной импульсов. Длина волны и ширина спектра должны быть зафиксированы в документации.

б) Измерение с помощью счетчика или оборудования, применяемого при обратном рассеянии

Генератор оптических импульсов должен представлять собой лазерный диод большой мощности, возбуждаемый генератором серией электрических импульсов с настраиваемой шириной. Промежуток между двумя импульсами должен быть больше, чем время распространения переданного (Δt, со счетчиком) или отраженного импульса ($2\Delta t$, с оборудованием, применяемым при обратном рассеянии). Длина волны и ширина спектра лазерного диода должны быть зафиксированы в документации.

18.4.3. *Датчик оптических импульсов*

В качестве приемника используют высокоскоростной лавинный фотодиод. Чувствительность датчика оптических импульсов должна быть адекватна измеряемой длине волны, а полоса частот должна быть достаточно широкой для того, чтобы избежать искажений импульсов.

18.5. Проведение испытаний

а) Калибрование

Определяют время задержки импульса между источником излучения и вводом в волокно (время задержки самого измерительного прибора).

б) Среднее значение группового показателя преломления

Определение Δt на отрезке волокна известной длины позволяет получить среднее значение показателя преломления N оптического волокна.

в) Измерение длины волокна

Измерение длины заключается в определении временного интервала, значение которого отражается на экране осциллографа* или представлено в виде показаний электронного счетчика.

18.6. Результаты

Для определения длины волокна используют следующие уравнения:

а) метод передаваемого импульса

---

* Можно значительно повысить точность результатов испытаний, независимо от фактической длины волокна, применением метода с использованием двухканального осциллографа (см. черт. 5).

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{N},$$

б) метод отраженного импульса

$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{2N},$$

где L — длина волокна, м;
Δt — время передачи или отражения, нс;
c — скорость света в вакууме, м/нс;
N — средний групповой показатель преломления.

Принцип измерения длины волокна

Луч 1: испускаемый импульс



1 — первый импульс; 2 — второй импульс с настраиваемой частотой повторения

а

Луч 2: передаваемый импульс



1 — первый импульс

б

Луч 1: испускаемый импульс после регулирования частоты повторения таким образом, чтобы второй импульс в луче 1 совпадал с переданным импульсом луча 2



в

18.7. Документация

В документации должны быть представлены следующие данные:
тип волокна;
относительная влажность и температура окружающей среды;
метод измерения;
длина волны;
групповой показатель преломления;
время задержки измерительного устройства*;
время прохождения или возврата импульса*;
длина волокна.

III. Методы измерения механических характеристик

19. НАЗНАЧЕНИЕ

Приведенные методы предназначены для испытаний на механическую прочность, для определения возможности применения или выявления физических дефектов оптического волокна с первичным покрытием или с первичным буферным покрытием. Методы используют для контроля волокон, предназначенных для поставки.

Механические характеристики оптических волокон проверяют на соответствие установленным требованиям путем проведения на образцах испытаний, указанных в табл. 4. Проводимые испытания, критерии годности и число образцов указывают в технических условиях.

Таблица 4

Механические характеристики оптических волокон

Номер метода испытания	Наименование метода испытания	Определяемые характеристики
B1	Перемотка под натяжением	Механическая прочность
B2A	Прочность на разрыв короткого отрезка волокна	
B2B	Прочность на разрыв отрезка волокна большой длины (в стадии рассмотрения)	
B3	Стойкость к изгибу (в стадии рассмотрения)	Эксплуатационные свойства
B4	Стойкость к истиранию (в стадии рассмотрения)	
B5	Визуальный осмотр (в стадии рассмотрения)	Физические дефекты
C1C	Обратное рассеяние	

* При необходимости.

20. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

20.1. Механическая прочность отрезка стеклянного волокна

а) Механическая прочность отрезка стеклянного волокна зависит от глубины самой глубокой трещины, имеющейся на данном отрезке.

При определенной температуре и влажности окружающей среды и приложенном напряжении α глубина трещины будет возрастать в соответствии с соотношением, предложенным Чарльзом:

$$\frac{da}{dt} AK_I^n,$$

в котором K_I по Гриффиту выражается как $K_I = Y\alpha a^{1/2}$

где

K_I — коэффициент интенсивности напряжения;

Y — коэффициент, зависящий от формы (константа);

α — напряжение;

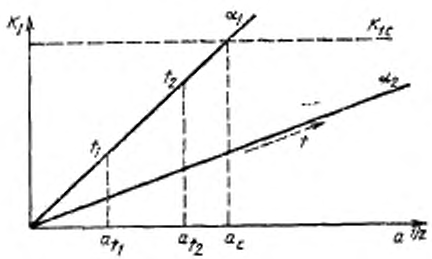
n — показатель, учитывающий зависимость скорости возникновения дефектов от напряжения (константа);

a — глубина трещины;

A — постоянная пропорциональности, определяемая экспериментально.

Если трещины за время Δt достигли размера, при котором K_I переходит в K_{Ic} (критический коэффициент интенсивности напряжения), происходит разрушение волокна (см. черт. 6).

График увеличения трещины в оптическом волокне под действием напряжения



Черт. 6

б) В качестве иллюстрации:

Если волокно подвергается действию напряжения α_1 в течение времени $\Delta t = t_2 - t_1$, трещина увеличится от a_{t_1} до a_{t_2}. Однако, с точки зрения коммерции, необходимо учитывать, что после того, как волокно прошло перемотку при напряжении α_1, а трещина почти достигла размера a_c (т. е. размера, при котором происходит разрушение волокна), последующее напряжение α_2 (при $t > t_2$) должно быть меньше α_1 во избежание разрушения волокна.

21. ФИЗИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ

Физические дефекты, такие как примеси и пузыри, могут присутствовать в волокне и оказывать влияние на оптические и механические характеристики. Определенные типы дефектов могут быть обнаружены с помощью методов отражения или других измерительных методов.

22. МЕТОД В1. ПЕРЕМОТКА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ПОД НАТЯЖЕНИЕМ

22.1. Назначение

При испытании вся длина оптического волокна подвергается перемотке под натяжением с целью исключения точек, в которых механическая прочность равна или ниже заданного уровня.

22.2. Условия проведения испытания

Испытание проводится в нормальных атмосферных условиях в соответствии с ГОСТ 28198.

22.3. Общие требования к испытаниям

22.3.1. Пробное испытание должно соответствовать одному из следующих способов:

а) постоянное напряжение;

б) постоянное удлинение;

в) постоянная деформация изгиба.

22.3.2. Перемотку при постоянном напряжении и постоянном удлинении применяют для волокон с первичным и вторичным покрытиями, модуль упругости и толщина которых достаточны для того, чтобы выдержать действующие на них линейные и радиальные силы и защитить поверхность волокна от действия разрушительных радиальных напряжений. В противном случае применяют испытание на постоянную деформацию изгиба.

22.3.3. Уровень нагрузки при перемотке устанавливают с учетом поправки на влияние защитных покрытий оптического волокна.

22.3.4. Колебания напряжения в отдающем и приемном устройствах для волокна не должны передаваться в испытательную зону устройства.

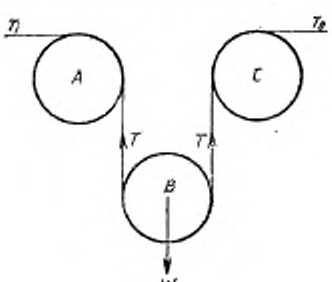
22.3.5. Скорость прохождения волокна через устройство и конструкция устройства должны быть таковы, чтобы волокно было нагружено в течение времени, установленном в технических условиях.

22.4. Перемотка при постоянном напряжении

22.4.1. *Устройство для проведения испытания*

Устройство для перемотки при постоянном напряжении должно соответствовать черт. 7. *A* и *C* — ведущие колеса или шкивы, *B* — свободно вращающееся колесо или шкив, лежащее в плоскости двух других, свободное перемещение которого ограничивается вертикальной линией, проходящей через его ось. Груз *W*, приложенный к *B*, создает растягивающее усилие *T*. Важно, чтобы коэффициент трения покоя между оптическим волокном и колесами *A*, *B* и *C* был высок, и для того, чтобы свести к минимуму проскальзывание, могут использоваться, например, прижимные ремни. Одно из колес имеет постоянную угловую скорость, причем положение по вертикали колеса *B* достигается варьированием скорости колеса *C* Натяжение за пределами участка T_i не должно превышать 10 % испытательного натяжения *T*. Диаметр колес должен быть таков, чтобы напряжение, возникающее при изгибе в любой точке, не превышало 10 % испытательного значения.

Устройство для перемотки с постоянным напряжением



Черт. 7

22.4.2. *Проведение испытания*

Оптическое волокно должно проходить через устройство, как показано на черт. 7, со скоростью, соответствующей продолжительности испытания, указанной в технических условиях.

Масса груза W, действующего на колесо или шкив B, должна соответствовать указанной в технических условиях.

22.4.3. *Оценка результатов*

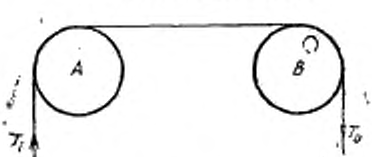
После испытания необходимо проверить целостность оптического волокна с помощью оптического рефлектометра или другого средства для обнаружения трещин. В волокне не должно быть трещин.

22.5. Перемотка с постоянным удлинением

22.5.1. *Устройство для проведения испытания*

Устройство для перемотки с постоянным удлинением должно соответствовать черт. 8; A и B — колеса или шкивы, у которых при вращении разность окружных скоростей создает требуемое напряжение.

Устройство для перемотки с постоянным удлинением



Черт. 8

Разность скоростей достигают за счет установки колес одинакового номинального диаметра, вращающихся с разностью угловых скоростей, обеспечивающей требуемый уровень удлинения, или установкой колес с диаметрами в соотношении, обеспечивающем требуемый уровень удлинения, при этом колеса должны вращаться с одинаковой угловой скоростью. Коэффициент статического трения между оптическим волокном и колесами должен быть достаточно высок для того, чтобы снизить до минимума проскальзывание; допускается использование прижимных ремней или других приспособлений подобного типа. Удлинение за пределами участка T_1 не должно превышать 10 % испытательного значения. Диаметры колес должны быть такими, чтобы удлинение при изгибе в любой точке не превышало 10% испытательного значения.

22.5.2. *Проведение испытания*

Удлинение должно устанавливаться в соответствии с требованиями технических условий путем регулирования скорости колес для получения требуемой разности скоростей вращения или путем установки колес с требуемой разностью диаметров.

Оптическое волокно должно проходить через устройство для перемотки с удлинением со скоростью, соответствующей времени испытания, указанному в технических условиях.

22.5.3. *Оценка результатов*

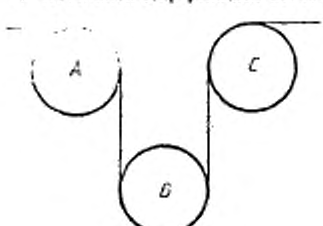
После испытания необходимо проверить на целостность оптическое волокно с помощью оптического рефлектометра или другого средства для обнаружения обрывов. В волокне не должно быть обрывов.

22.6. Перемотка с постоянной деформацией изгиба

22.6.1. *Устройство для проведения испытания*

Устройство для перемотки с постоянной деформацией изгиба должно соответствовать черт. 9. Ролики *A*, *B* и *C* свободно вращаются вокруг параллельных осей. Волокно изгибается свободно вращающимися роликами при достаточном натяжении, следуя геометрии роликов. Диаметры роликов выбирают так, чтобы вызванная изгибами максимальная деформация на поверхности волокна была равна требуемой деформации с учетом толщины защитных или буферных покрытий.

Устройство для перемотки с постоянной деформацией изгиба

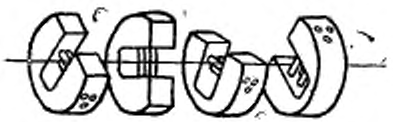


Черт. 9

Для обеспечения практически постоянной максимальной деформации всех участков поверхности волокна используют группы роликов, установленных под углом к первому.

Обычно используют четыре группы роликов, установленных под углом 45° друг к другу (черт. 10).

Группы роликов



Черт. 10

Отдающее и приемное устройства должны предотвращать кручение волокна при его прохождении.

22.6.2. *Проведение испытания*

Деформация должна соответствовать значению, указанному в технических условиях, что обеспечивается выбором диаметра ролика. Оптическое волокно должно проходить через устройство со скоростью, соответствующей времени испытания, указанному в технических условиях.

22.6.3. *Оценка результатов*

После испытания оптическое волокно должно быть проверено на отсутствие обрывов с помощью оптического рефлектометра или другого средства для обнаружения обрывов. В волокне не должно быть обрывов.

23. МЕТОД В2А. ПРОЧНОСТЬ НА РАЗРЫВ КОРОТКИХ ОТРЕЗКОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

23.1. Назначение

Цель испытания заключается в получении значений прочности на разрыв коротких отрезков оптических волокон. Распределение значений прочности на разрыв волокна зависит от длины образца, скорости нагружения и условий окружающей среды. Испытание проводят в случаях, когда требуются статистические данные о прочности волокна. Результаты представляют в виде статистического распределения. Обычно испытание проводят после выдержки образцов при необходимой температуре и влажности. В некото-

рых случаях может быть достаточно определить эти характеристики при температуре и влажности окружающей среды.

23.2. Подготовка образцов

Длина образцов не должна превышать 1 м.

23.3. Устройство для проведения испытания

Устройство для испытания на растяжение должно иметь зажимы, которые не повреждают образец и предотвращают его повреждение. Скорость растяжения должна составлять 5 % длины образца в минуту.

Примечание. Устройство для испытания на растяжение может иметь вертикальное или горизонтальное расположение растягиваемого образца. Волокно зажимается с помощью зажимных цилиндров или каких-либо других приспособлений.

23.4. Предварительная выдержка образцов (необязательное, см. технические условия)

При необходимости образцы могут выдерживаться в ванне с водопроводной водой при температуре 20 °С или в камере искусственного климата (например с регулируемой температурой, равной 23 °С, и относительной влажностью 95 %). Время выдержки — не менее 24 ч.

23.5. Проведение испытания

Испытание А (без предварительной выдержки)

Образец должен быть установлен в устройстве для испытания на растяжение таким образом, чтобы свободная длина между зажимами составила не более 1 м. Скорость указывают в технических условиях на волокно.

Испытание Б (с предварительной выдержкой)

Испытание должно начинаться не позднее чем через 5 мин после извлечения образца из устройства, где проводилась предварительная выдержка, тем же способом, что описан в испытании А.

23.6. Результаты

В документации должны быть представлены следующие данные:

контрольная длина;

тип зажимов;

скорость растяжения;

относительная влажность и температура окружающей среды;

тип волокна;

длина образца;

значения прочности; значение, при котором происходит обрыв волокна, определяется как прочность волокна.

В качестве эталона распределение качества той же категории должно быть представлено, например, с помощью распределения по Вейбулу. Соответствие графика распределения зависит от об-

щей длины испытываемого волокна, а также от длин испытываемых образцов.

Примечание. В случае обрывов в зоне зажимов (например, от 10 до 15 мм) значение не должно включаться в статистическое распределение контроля качества, а должно быть указано отдельно.

24. МЕТОД В2В. ПРОЧНОСТЬ НА РАЗРЫВ ОТРЕЗКОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

В стадии рассмотрения.

25. МЕТОД В3. СТОЙКОСТЬ К ИЗГИБУ

В стадии рассмотрения.

26. МЕТОД В4. СТОЙКОСТЬ К ИСТИРАНИЮ

В стадии рассмотрения.

27. МЕТОД В5. ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР

В стадии рассмотрения.

IV. Методы измерения передающих и оптических параметров

28. НАЗНАЧЕНИЕ

Данные методы измерения применяются при определении передающих и оптических характеристик оптических волокон. Эти методы используют для проверки волокон и кабелей, предназначенных для поставки.

Передающие и оптические характеристики оптических волокон проверяют испытаниями, указанными в табл. 4.

Проводимые испытания и критерии годности устанавливают в технических условиях.

Таблица 5

Номер метода испытания	Наименование метода испытания	Определяемые характеристики
C1A C1B C1C	Метод обрыва Метод вносимых потерь Метод обратного рассеяния	Затухание

Продолжение табл. 5

Номер метода испытания	Наименование метода испытания	Определяемые характеристики
C2A C2B	Импульсная характеристика Частотная характеристика	Полоса пропускания
A1 A2	Преломление в ближнем поле Распределение света в ближнем поле	Профиль показателя Максимальная теоретическая числовая апертура
C1C	Метод обратного рассеяния	Обратное рассеяние
C3	Чувствительность к микроизгибам (для рассмотрения в будущем)	Чувствительность к микроизгибам
C4 C1C	Передаваемая или излучаемая мощность Метод обратного рассеяния	Оптическая непрерывность
C5A C5B	Фазовый сдвиг Задержка импульса	Обратная дисперсия
C6	Распределение света в дальнем поле	Числовая апертура Угол возбуждения волокна
C7A C7B	Метод передаваемой мощности Зависимость диаметра модового пятна от длины волны	Длина волны отсечки
C8	Модовая дисперсия (для рассмотрения в будущем)	Модовая дисперсия
C9A C9B	Метод поперечного сдвига Метод проходящих полей	Диаметр модового поля Диаметр модового поля Неконцентричность
C10A C10B	Контроль передаваемой мощности Контроль обратного рассеяния	Изменение коэффициента передачи в течение испытаний механических параметров и испытаний на воздействие внешних факторов

Примечания:

1. Под общей дисперсией следует понимать общую хроматическую дисперсию.

2. Если измерение параметров одномодовых волокон проводят по методу С1А, то применяемые условия ввода излучения должны обеспечить возбуждение основной моды, а фильтр мод не должен распространять моды более высокого порядка.

29. ЗАТУХАНИЕ

Затухание является мерой уменьшения оптической мощности в волокне. Оно зависит от характера и длины волокна, на него также влияют условия измерения.

При неконтролируемых условиях ввода обычно возникают моды утечки высшего порядка, которые вызывают переходные потери и приводят к затуханию, не пропорциональному длине волокна.

Контролируемые условия ввода, создающие распределение мод, соответствующее установившемуся состоянию, приводят к затуханию, пропорциональному длине волокна. В таких условиях установившегося состояния может быть определено линейное значение затухания волокна. Затухания соединенных волокон складываются линейным путем.

30. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Затухание $A(\lambda)$ на длине волны λ между двумя плоскостями поперечного сечения 1 и 2, расстояние между которыми равно L, определяется следующим образом:

$$A(\lambda) = \left| 10 \lg_{10} \frac{P_1}{P_2} \right| \text{(дБ)},$$

где P_1 — оптическая мощность, проходящая через площадь поперечного сечения 1,

P_2 — оптическая мощность, проходящая через площадь поперечного сечения 2.

Для однородного волокна в состоянии равновесия можно определить затухание на единицу длины, или коэффициент затухания:

$$a(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \text{ (дБ)} \cdot \text{(ед. длины)}^{-1},$$

который не зависит от выбранной длины волокна.

31. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ

Для измерения затухания приведены три метода.

а) Метод обрыва

Этот метод применяется непосредственно для определения затухания, причем уровни мощности P_1 и P_2 измеряются в двух точках волокон без изменения условий ввода. P_2 является мощностью, излучаемой в конце световода, а P_1 — мощность, излучаемая у ввода в точке среза волокна. Принцип измерения не позволяет получить информацию о распределении затухания вдоль волокна. Трудно также измерить изменения затухания под действием различных условий. Но в определенных условиях этот метод обеспечивает наиболее точное измерение затухания, строго отвечающее его определению. В некоторых случаях разрушающий характер этого метода делает его неприемлемым.

б) Метод вносимых потерь

Этот метод в принципе аналогичен методу обрыва, но P_1 является мощностью, излучаемой на выходе системы ввода. Измеренное значение затухания испытываемого волокна, включающее влияние измерительной аппаратуры, должно быть скорректировано по дополнительным потерям в соединении, соответствующим потерям на эталонной длине волокна. Этот метод также не позволяет анализировать затухание по длине волокна, но по предварительно известной мощности P_1 возможно непрерывно измерять изменение затухания в зависимости от изменений условий окружающей среды, таких, как температура или прикладываемая нагрузка. Этот метод применим также для измерений на кабелях, имеющих соединители.

в) Метод обратного рассеяния

Методом обратного рассеяния измеряется оптическая мощность, которая рассеивается в обратном направлении к началу волокна из различных его точек.

Измерение проводится с одной стороны.

На измерение влияют скорость распространения света в волокне и его поведение в режиме обратного рассеяния. Если эти два параметра являются постоянными, что обычно наблюдается для отдельных длин волокон, то результат измерения затухания может быть достаточно точным, если соблюдаются установленные условия ввода.

Измерение позволяет анализировать затухание вдоль всего волокна или на отдельных отрезках, а также на линиях, образованных соединенными волокнами, и определять затухание соединений. В некоторых случаях следует проводить измерение с обоих концов, чтобы исключить эффекты обратного рассеяния, зависящего от направления распространения. Кроме того, этим методом может быть измерена длина волокна.

32. МЕТОД С1А. МЕТОД ОБРЫВА

32.1. Условия ввода

Условия ввода являются определяющими для достижения целей, указанных в п. 29. Условия ввода должны быть такими, чтобы избежать ввода мощности в переходные моды высшего порядка. При отсутствии ввода в эти переходные моды испытываемого волокна будут измерены затухания отдельных участков, суммирующиеся практически линейным образом.

Поскольку эти распределения мощности существенно не изменяются волокном, они называются распределениями в установившемся состоянии.

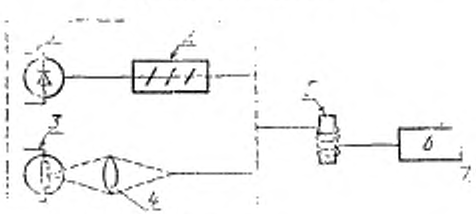
32.1.1. *Методы ввода*

Существуют два обычных метода для обеспечения условий ввода в установившемся состоянии для измерения затухания: фильтры мод и ввод с помощью систем геометрической оптики. Примеры каждого метода приведены в п. 32.2. При соответствующем применении этих методов могут быть получены сравнимые результаты. Типовой пример схемы ввода, использующей фильтр мод, приведен на черт. 11а.

32.1.2. *Вывод мод оболочки*

Вывод мод оболочки обеспечивает то, что ни одна из мод излучения, распространяющаяся в зоне оболочки, не может быть обнаружена после короткого расстояния по длине волокна. Часто для вывода мод оболочки применяется матернал, показатель преломле-

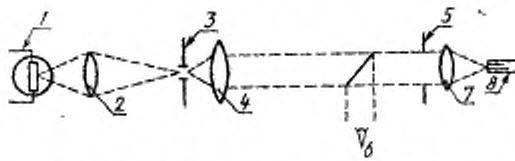
Аппаратура для измерения затухания на установленной длине волны



1 — светоизлучающий диод или лазер; *2* — смеситель мод; *3* — лампа; *4* — линза; *5* — фильтр мод; *6* — устройство выделения мод оболочки; *7* — ввод

а

Аппаратура для измерения спектрального затухания



1 — лампа; *2* — промежуточная линза; *3* — апертура, определяющая пятно; *4* — линза; *5* — апертура, определяющая числовую апертуру; *6* — ИК визир; *7* — линза; *8* — ввод

б

Черт. 11

ния которого равен или более показателя преломления оболочки волокна. Это может быть достигнуто применением жидкости для согласования показателей преломления на отрезке волокна, с которого снята оболочка, вблизи его концов; само покрытие волокна также может обеспечивать вывод мод оболочки.

32.1.3. *Смеситель мод*

Мощность, вводимая до фильтра мод, должна представлять существенно однородное распределение. При таком источнике как светодиод или лазер, не удовлетворяющем этому условию, необходимо использовать смеситель мод. Он должен иметь соответствующее устройство из волокна (например, цепочку профилей показателей преломления ступенчатый — градиентный — ступенчатый).

32.2. Примеры условий ввода

32.2.1. *Фильтры мод*

32.2.1.1. *Фильтр мод в виде инициирующего волокна*

Волокно выбирается того же типа, что и испытываемое волокно. Его длина должна быть достаточной (обычно равной или более 1 км), чтобы распределение мощности, передаваемой по этому волокну, было стабильным при применении источника ввода, соответствующего требованиям п. 32.1.3.

32.2.1.2. *Фильтр мод в виде намотанного на стержень волокна*

Другой тип фильтра мод представляет собой стержень с несколькими витками (обычно 3—5 витков) испытываемого волокна, намотанными со слабым натяжением. Диаметр стержня выби-

рается таким, чтобы обеспечить затухание переходных мод, возбуждаемых в испытываемом волокне, до достижения устойчивого состояния.

Измерение в поле дальней зоны должно проводиться для сравнения распределения мощности, излучаемой на выходе испытываемого волокна большой длины (более 1 км), когда она возбуждается источником, обеспечивающим однородное насыщение, с распределением мощности, излучаемой на выходе волокна короткой длины, намотанного на стержень. Диаметр стержня выбирается таким, чтобы получить распределение в поле дальней зоны на короткой длине, приблизительно соответствующее распределению в поле дальней зоны на большой длине волокна. Числовая апертура (измеряемая в соответствии с методом С6) диаграммы излучения на конце короткой длины должна находиться в диапазоне 94—100 % числовой апертуры диаграммы, соответствующей большой длине.

Диаметр стержня может быть различным в зависимости от типа волокна и покрытия. Обычно диаметр стержня составляет 15—40 мм с пятью витками волокна, при длине стержня около 20 мм.

32.2.1.3. *Сочетание смесителя и фильтра мод*

Сочетание функций смесителя и фильтра мод может быть реализовано с помощью устройства, содержащего определенное число металлических шариков (размером 1—5 мм), расположенных произвольно, но с выровненной общей поверхностью. Волокно такого же типа, что и испытываемое, кладется на эту поверхность шариков и прижимается сверху на длине около 0,5 м. Регулированием силы нажима можно обеспечить регулирование распределения мощности, излучаемой на конце волокна короткой длины, что идентично тому, что описано в п. 32.2.1.2.

32.2.2. *Ввод с помощью системы геометрической оптики*

Ввод с пространственным ограничением (ПО) определяется как ввод, производимый геометрической оптикой, заполняющий одинаково 70 % диаметра сердечника и 70 % числовой апертуры испытываемого волокна. Это максимальное геометрическое распределение мощности, которое не вводит мощность в быстро затухающие моды. Так, в случае многомодового градиентного волокна 50/125 мкм с числовой апертурой 0,2 условия ввода ПО соответствуют диаметру однородного пятна 35 мкм и числовой апертуре 0,14.

Для такого же типа волокна МККТТ рекомендует в настоящее время ввод в пятно 26 мкм с числовой апертурой 0,11.

На черт. 11б приведен пример оптической схемы, используемой для ввода ПО. Следует обеспечить, чтобы ось вводимого пучка совпадала с осью волокна, при этом пятно и конус падающего света должны быть сцентрированы с сердечником волокна. Кроме того, оптическая система ввода должна быть рассчитана на используемые длины волн для обеспечения правильного измерения.

32.3. Аппаратура

а) Измерения могут проводиться на одной или нескольких длинах волн. В качестве варианта может потребоваться спектральная кривая затухания для всего диапазона длин волн. На черт. 11 в качестве примера представлены схемы монтажа испытательной аппаратуры.

б) Оптический источник

Должен использоваться соответствующий источник излучения, такой как лампа, лазер или светоизлучающий диод. Выбор источника зависит от типа измерения. Источник должен быть устойчивым по положению, по интенсивности и по длине волны в течение достаточно длительного периода, во время которого проводится измерение. Ширина спектральной линии (между точками при 50 % оптической интенсивности используемого источника) должна быть определена таким образом, чтобы она была узкой по отношению к любой характеристике спектрального затухания волокна. Это волокно должно быть ориентировано по конусу ввода или соединено коаксиально с волокном ввода.

в) Аппаратура оптического детектирования

Должна использоваться большая детектирующая поверхность, чтобы захватывать любое излучение конуса или конусов на выходе. Если приемное устройство уже имеет приемный вывод, то он должен иметь диаметр сердечника и числовую апертуру, достаточные для поглощения всего света, выходящего из эталонного и испытываемого волокон. Спектральная чувствительность должна быть совместимой со спектральными характеристиками источника. Детектирование должно быть однородным и иметь линейные характеристики.

г) Обработка сигнала

Как правило, источник света модулирует с целью улучшения соотношения сигнала (шум при приеме). Если принимается такой метод, то детектор должен быть соединен с системой обработки сигнала, синхронизированной с модулирующей частотой источника. При этом необходимо, чтобы система обнаружения была практически линейной или имела известные характеристики.

д) Устройство выделения мод оболочки

Для подавления оптической мощности, распространяющейся в оболочке, должна использоваться соответствующая техника, если это оказывает заметное влияние на принимаемый сигнал.

32.4. Проведение измерений

а) Испытываемое волокно монтируют на измерительном устройстве.

Выходную мощность P_2 фиксируют.

б) Поскольку условия ввода сохраняются постоянными, волокно обрезают на требуемой длине (например в двух метрах от точки ввода). Фиксируют выходную мощность P_1 для длины обрезанного волокна.

в) Затухание волокна между точками, в которых измерены P_1 и P_2, может быть вычислено по известным P_1 и P_2.

32.5. Результаты

32.5.1. В документации должны фиксироваться следующие данные:

дата испытания;

наименование испытания;

идентификация волокна;

длина образца;

спектральное затухание, дБ, или линейное затухание, дБ/км, в зависимости от длины волны или одной или нескольких заданных длин волн, в соответствии с установленным в технических условиях.

32.5.2. По запросу должны предоставляться следующие данные:

тип источника;

спектральная ширина источника;

методика ввода;

схема измерений;

относительная влажность и температура окружающей среды.

33. Метод С1В. Метод вносимых потерь

33.1. Назначение

В настоящем пункте приведена методика измерения затухания с использованием метода вносимых потерь в качестве альтернативного метода испытания.

33.2. Условия ввода

Условия ввода аналогичны тем, которые указаны в п. 32.1.

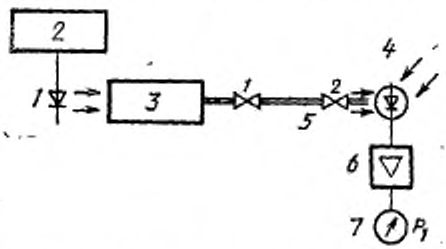
Условия ввода в эталонное и испытываемое волокно должны быть одинаковыми.

33.3. Аппаратура

а) Измерения могут проводиться на одной или нескольких длинах волн; в качестве варианта спектральный отклик может

быть рекомендован по всему диапазону длин волн. Схемы монтажа испытательной аппаратуры представлены в качестве примера на черт. 14 (калибровка) и 15 (измерение).

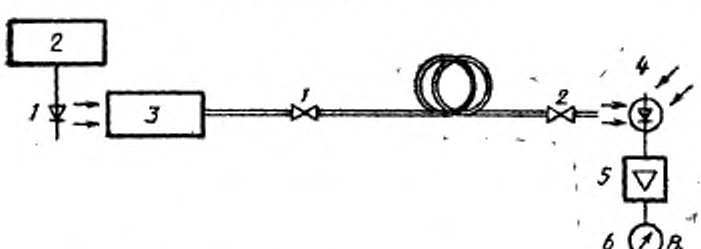
Калибровка при измерении вносимых потерь



1 — светоизлучающий источник; *2* — цепь питания; *3* — система ввода; *4* — детектор с дополнительным подводящим волокном; *5* — эталонное волокно; *6* — усилитель; *7* — измеритель уровня

Черт. 14

Измерение вносимых потерь



1 — светоизлучающий источник; *2* — цепь питания; *3* — система ввода; *4* — детектор с дополнительным подводящим волокном; *5* — усилитель; *6* — измеритель уровня

Черт. 15

б) Оптический источник
См. п. 32.3б).
в) Аппаратура оптического детектирования
См. п. 32.3в).
г) Обработка сигнала

См. п. 32.3г).

д) Устройство выделения мод оболочки

См. п. 32.3д).

е) Соединительное устройство

Метод вносимых потерь требует применения очень точного устройства соединения волокна с волокном, чтобы свести до минимума потери, вносимые соединением, и обеспечить надежные результаты. Это соединительное устройство может быть в виде механической подвижной системы, контролируемой визуально, или в виде соединителя с регулированием положения сердечник-сердечник.

ж) Эталонное волокно

Эталонное волокно может быть того же типа, что и испытываемое.

33.4. Проведение измерений

а) Измерительное устройство калибруют для получения эталонного уровня на входе P_1. Для начальной калибровки используют тот же тип волокна, что и эталонное волокно. Длина эталонного волокна должна быть незначительной (например, 2 м), чтобы можно было пренебречь его затуханием.

б) Испытываемое волокно соединяют с измерительным устройством, и соединение регулируют с целью получения максимального уровня на оптическом детекторе. Мощность на выходе P_2 фиксируют.

в) Затухание испытываемого волокна вычисляют по формуле

$$A=|10\log_{10}P_1/P_2| \text{ (дБ)}.$$

Если затуханием эталонного волокна нельзя пренебречь, то его следует прибавить к вычисленному значению.

33.5. Результаты

33.5.1. В документации должны фиксироваться следующие данные:

дата измерения;

наименование измерения;

идентификация волокна;

длина образца;

спектральное затухание, дБ, или линейное затухание, дБ/км, в зависимости от длины волны или одной или нескольких заданных длин волн, в соответствии с установленным в технических условиях.

33.5.2. По запросу должны предоставляться следующие данные:

тип источника;

спектральная ширина источника;
методика ввода;
схема измерений;
относительная влажность и температура окружающей среды.

34. Метод С1С. Метод обратного рассеяния

34.1. Назначение

В настоящей методике описана техника измерения затухания в однородном образце оптического волокна с использованием метода обратного рассеяния в качестве альтернативного метода испытания. Данная методика может быть использована для контроля оптической целостности, физических дефектов, мест сварки и обратного рассеяния в оптических волокнах, а также длины волокна.

34.2. Условия ввода излучения

Для измерения затухания может быть использована методика, описанная в п. 32.1. Для контроля других параметров условия ввода излучения могут зависеть от параметров, которые подвергаются проверке. Во всех случаях для того, чтобы снизить френелевское отражение на входе волокна, могут быть использованы различные устройства, например, поляризаторы или материалы с близкими показателями преломления. Вносимые потери должны быть минимальными.

34.3. Устройство для проведения испытания

а) Общие сведения

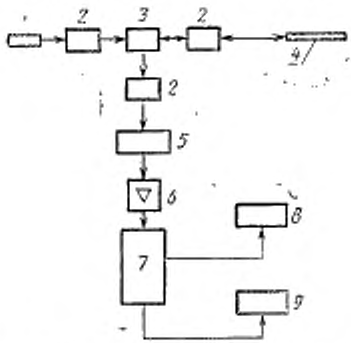
Уровень оптического сигнала обратного рассеяния обычно невелик и близок к уровню шума. Для улучшения отношения сигнал-шум и динамического диапазона измерений используют мощный источник света совместно с устройством для обработки детектированного сигнала. Кроме того, для получения компромиссного значения между разрешающей способностью и энергией импульса, точная пространственная разрешающая способность может потребовать регулирования ширины импульса. Особое внимание должно быть уделено минимизации френелевского отражения. Оптические нелинейные эффекты должны быть исключены для волокна, подвергаемого испытанию.

Пример устройства показан на черт. 16.

б) Источник оптического излучения

Необходимо пользоваться стабильным мощным источником оптического излучения с соответствующей длиной волны, таким как полупроводниковый лазер. Длина волны источника должна быть зафиксирована. Ширина импульса и частота повторения импульсов должны соответствовать требуемой пространственной разрешающей способности и длине волокна.

Устройство обратного рассеяния



1 — источник света; *2* — оптическая система; *3* — устройство соединения; *4* — испытываемое волокно; *5* — оптический детектор; *6* — усилитель; *7* — устройство обработки сигналов; *8* — осциллограф; *9* — система сбора данных

Черт. 16

в) Оптическое детектирование

Детектор должен обеспечивать максимальный захват мощности обратного рассеяния. Чувствительность детектора должна соответствовать уровню и длине волны детектируемых сигналов. При изменении затухания чувствительность детектора должна быть, в основном, линейной.

г) Обработка сигнала

Обработка сигнала необходима для улучшения соотношения сигнал-шум и желательно иметь в системе детектирования логарифмическую чувствительность.

За оптическим детектором должен быть установлен соответствующий усилитель, что делает уровень сигнала достаточным для его обработки. Ширина полосы пропускания усилителя выбирается как среднее между временной разрешающей способностью и требованиями по снижению уровня шума.

д) Фильтр оболочечных мод

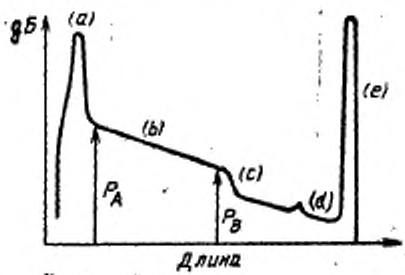
См. п. 32.3д).

34.4 Проведение испытания

а) Испытываемое волокно устанавливают на одном уровне с устройством соединения.

б) Мощность, рассеянную в обратном направлении, анализируют с помощью устройства для обработки сигналов и регистрируют на логарифмической шкале. На черт. 17 представлена типичная кривая. Что касается детальной интерпретации, см п. 34.6.

Кривая мощности, рассеянной в обратном направлении



Черт. 17

в) Если зарегистрированная кривая имеет приблизительно постоянный наклон (зона *b*), затухание между двумя точками *A* и *B* кривой, соответствующими двум площадям поперечного сечения волокна, можно выразить следующим образом:

$$A(\lambda)_{A-B} = \frac{1}{2}(P_A - P_B)\ (\text{дБ}),$$

где P_A и P_B — соответствующие уровни мощности, представленные на логарифмической шкале. В приведенном уравнении в точках *A* и *B* использованы одни и те же коэффициенты обратного рассеяния.

г) При необходимости могут быть проведены двунаправленные измерения совместно с числовыми расчетами с целью повышения точности результата и учета влияния на затухание дефектов волокна.

34.5. Результаты

В документации должны быть представлены следующие результаты:

типы измерений и характеристики;

методика ввода излучения;

измерительная установка;

относительная влажность и температура образца (в случае необходимости);

тип волокна;
длина образца;
время нарастания, ширина и частота повторения импульса;
используемый тип обработки сигнала;
зарегистрированная кривая на логарифмической шкале, указывающая затухание в образце в децибелах, и, при необходимости, коэффициент затухания (дБ/км).

Примечание. Анализ зарегистрированной кривой (черт. 17) показывает, что кроме измерения затухания с помощью метода обратного рассеяния могут контролироваться:
отражение, причиной которого является устройство соединения на входном конце волокна *a*);
прерывность за счет локальных дефектов, сростков или соединений *c*);
отражение за счет диэлектрических дефектов *d*);
отражение на конце волокна e)

34.6. Руководство по интерпретации характеристик обратного рассеяния

34.6.1. *Общие сведения*

Метод обратного рассеяния является одним из основных методов измерения как для многомодовых, так и для одномодовых волокон. По сравнению с другими методами измерения затухания, такими как метод вносимых потерь, данный метод позволяет получить единое значение полных потерь, а также произвести оценку волокна или соединений волокон по всей длине.

Поскольку метод обратного рассеяния дает не только прямые потери, но и потери при обратном рассеянии, измеренное значение включает в себя значение потерь волокна и характеристики рассеяния.

Характеристики обратного рассеяния зависят от длины волны, в результате чего измерения на различных длинах волны дают различные результаты.

В пп. 34.6.2; 34.6.3 дано руководство по интерпретации характеристик обратного рассеяния, измерению затухания, интерпретации неравномерностей, и по учету влияния, оказываемого меняющимся коэффициентом рассеяния.

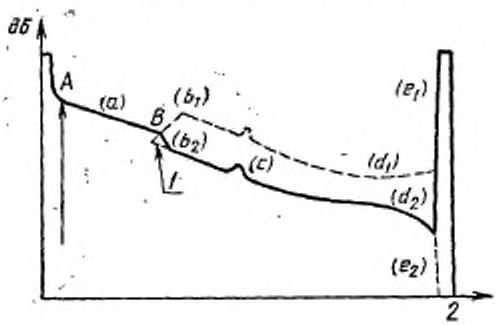
34.6.2. *Интерпретация характеристик обратного рассеяния*

Диапазон (*a*)

На черт. 18 представлена кривая обратного рассеяния, отражающая большую часть наиболее часто встречающихся явлений. В приведенных примерах вертикальная ось (*Y*) логарифмическая. Поэтому кривая обратного рассеяния с постоянным наклоном характерна для волокна с постоянным коэффициентом затухания. В диапазоне от *A* до *B* кривая обратного рассеяния имеет посто-

янный наклон. Это свидетельствует об однородности волокна и поэтому, хотя измерения должны выполняться в обоих направлениях, позволяет провести измерение с одного конца.

Пример кривой обратного рассеяния



1 — экстраполяция; *2* — длина

Черт. 18

Затухание вычисляется между двумя точками *A* и *B*, причем обе должны находиться вне вероятных мертвых зон. Измеренное с обеих сторон среднее значение есть затухание. В этом случае может быть определен также коэффициент затухания (см. п. 34.4 в) и г)).

Примечание. Даже если наклон по всей длине волокна не является строго постоянным (*a*) — (*d*), характеристики волокна могут быть аппроксимированы с помощью общих средних квадратических расчетов с учетом коэффициента корреляции.

Диапазон (*b*)

Перепад в точке *B* свидетельствует об изменении локализованных потерь, вызванных внешними воздействиями, например, сращиванием, или внутренними причинами. Если этот период вызван сращиванием, он может быть положительным (b_2) или отрицательным (b_1). Он суммирует потери при сращивании и различия обратного рассеяния у двух волокон. По этой причине измерения должны выполняться на обоих концах. Локальные потери определяются как среднее значение двух измерений.

Для точного определения результата достаточно экстраполировать кривые на обеих сторонах относительно точки *B*.

Примечание. Длина перепада зависит от ширины импульса. Если данный перепад длиннее рассчитанного по ширине импульса, дефект может располагаться в участке волокна с более высоким затуханием или же может быть несколько перепадов, расстояние между которыми настолько мало, что его невозможно определить путем таких измерений.

Диапазон (*c*)

Нерегулярности, подобные представленным на участке (*c*) черт. 18 образованы за счет резкого увеличения обратного рассеяния. Их вклад в затухание может быть определен тем же путем, что и для диапазона (*b*).

Диапазон (*d*)

В некоторых случаях наклон кривой непостоянен по длине волокна, в результате чего появляется изгиб, который может быть или выпуклым (d_2) или вогнутым (d_1). Такой изгиб для ближнего конца волокна может образоваться в результате распространения оболочечных мод вследствие недостаточной их фильтрации. Изгиб может быть вызван внутренними и внешними воздействиями. Если воздействие является внутренним и не вызывает изменения затухания за счет поглощения, то причина заключается в постоянном изменении числовой апертуры для многомодовых волокон или в постоянном изменении диаметра поля моды для одномодовых волокон.

Если воздействие является внешним, то причина может быть связана с увеличивающимся воздействием на волокно покрытия или кабеля в процессе его прокладки.

Внутренние и внешние воздействия обычно можно различить, приложив к волокну или кабелю дополнительную силу или изменив температуру. Характеристики, не изменяющиеся в этом случае, присущи самому волокну, изменяющиеся характеристики определяются внешними воздействиями (см. п. 34.6.3).

Диапазон (*e*)

Конец волокна или любая неоднородность волокна вызывают сильное положительное отражение (e_1) за счет эффектов Френеля или большие потери мощности обратного рассеяния (e_2) при отсутствии эффектов Френеля.

Отражение также свидетельствует об изменении значения показателя преломления, которое может иметь место при механическом сращивании.

Пульсации

В некоторых случаях наклон непостоянен, и на кривой имеют место пульсации продолжительностью порядка одной ширины импульса. Обычно такого рода пульсации не формируются под действием периодических флуктуаций профиля показателя преломл-

ления, например, числовой апертуры в многомодовых волокнах и диаметра поля моды в одномодовых волокнах. Они связаны со свойствами измерительного оборудования, и предполагается, что они могут усиливаться по мере приближения испытываемой длины волокна к предельной длине, определяемой динамическим диапазоном оборудования для обратного рассеяния. Указанные нерегулярности могут быть исключены с помощью аппроксимации методом наименьших квадратов.

В этих случаях измерения должны выполняться на обоих концах волокна.

34.6.3. *Измерения кривой обратного рассеяния вследствие внешних воздействий*

Внешние воздействия — это растягивающие усилия или поперечные нагрузки, прилагаемые к кабелю и передаваемые волокну или волокнам в кабеле, или температурные изменения.

Изменения затухания (обычно только на одном конце волокна) измеряют до, во время и после воздействия внешних сил на волокно или кабель.

Характеристики кривой обратного рассеяния, которые являются следствием внутренних эффектов в волокне, остаются неизменными. Это такие неоднородности, как (*b*) и (*c*), волнистость и изгибы (*d*) внутреннего происхождения. Изгиб (*b*), вызванный сращиванием, может измениться. Изгиб, образовавшийся вследствие приложенных ранее внешних сил, может также измениться под действием дополнительных внешних сил.

По изменению кривизны изгиба можно определить, вызван он внутренними или внешними воздействиями.

Если изгиб является результатом внутренних причин, его кривизна остается постоянной на участке (черт. 19а и 19б), хотя средний наклон всей кривой (пунктирная линия) может линейно возрастать вдоль ее длины вследствие равномерных внешних воздействий. Изменения кривизны изгиба происходят в результате внешних причин (черт. 19а и 19в).

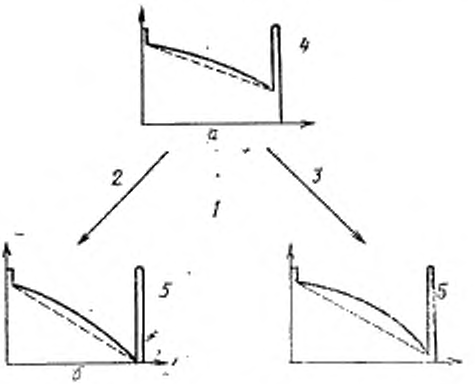
В случае постоянного наклона кривой до воздействия внешних сил (участок (а) на черт. 18) может быть следующее:

1) наклон остается неизменным, затухание без изменения;

2) наклон изменяется, но остается плавным линейное увеличение затухания (черт 20а);

3) участок с постоянным наклоном превращается в дугу вдоль длины волокна – постоянное увеличение затухания, которое может быть вызвано слишком плотной намоткой кабеля. Количественная оценка в данном случае невозможна (черт. 20б);

Исследование изгиба

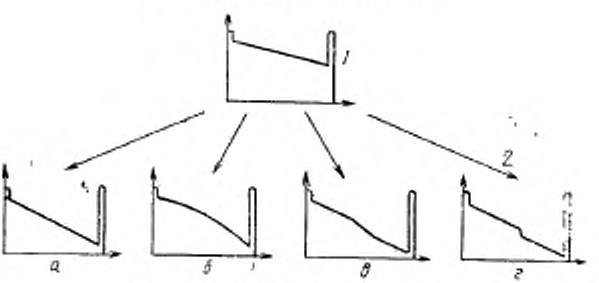


1 — причина образования изгиба; *2* — внутренняя; *3* — внешняя; *4* — до воздействия; *5* — после воздействия

Черт. 19

4) наклон увеличивается вдоль длины, постоянное увеличение затухания на отдельном участке волокна (черт. 20в);

Изменение обратного рассеяния



1 — до воздействия; *2* — после воздействия

Черт. 20

б) в дополнение к вышеуказанному в перечислениях 1)—4) на кривой обратного рассеяния образуется ступенька — волокно зафиксировано, и давление на волокно создается в определенном месте (черт. 20г). Необходимо исследовать, вызвано это внешними или внутренними причинами.

35. МОДОВАЯ ШИРИНА ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

Модовая ширина полосы пропускания является составляющей полной полосы пропускания, которая может быть представлена выражением

$$B_т=(B_m^{-2}+B_{ch}^{-2})^{-1/2},$$

где $B_т$ — общая ширина полосы пропускания (включая модовую и хроматическую дисперсии);

B_m — ширина полосы, связанная с модовой дисперсией;

B_{ch} — ширина полосы, связанная с хроматической дисперсией (см. примечание 2).

Примечания:

1. Предполагают, что характеристика в основном диапазоне модовой дисперсии и спектр источника имеют распределение Гаусса.

2. B_ch, ширина полосы, связанной с хроматической дисперсией, обратно пропорциональна длине образца и при предположении, что источник имеет распределение Гаусса, может быть выражена формулой

$$B_{ch}=\frac{0{,}4\cdot\times10^4}{\Delta\lambda\cdot D(\lambda)\cdot L}\ (\text{МГц}),$$

где $\Delta\lambda$ — спектральная ширина источника на уровне половины амплитуды, нм;

$D(\lambda)$ — коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км);

L — длина образца, км.

Измерение модовой ширины полосы пропускания достигается путем сведения до минимума $\Delta\lambda$, так что разница между $B_т$ и B_m становится менее 10 %. Модовая ширина полосы пропускания может быть выражена через временную или частотную характеристики.

36 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

а) Временная характеристика (импульсная характеристика)

Импульсная характеристика $g(t)$ есть функция, определяемая оптической мощностью, вводимой в волокно, и оптической мощностью на выходе.

б) Частотная характеристика (частотный отклик)

Частотная характеристика $G(\omega)$ определяется как функция

$$G(\omega)=\frac{P_2(\omega)}{P_1(\omega)}\ .$$

где $P_1(\omega)$ — энергетический спектр модулирующего сигнала в поперечном сечении 1,

$P_2(\omega)$ — энергетический спектр модулирующего сигнала в поперечном сечении 2.

Амплитудная и фазовая характеристики являются абсолютными величинами, составляющими $G(\omega)$.

Примечание. Частотная и импульсная характеристики в линейной системе связаны между собой следующим образом:

$$G(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} g(t)\exp(-j\omega t)dt.$$

37. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

Для измерения ширины полосы пропускания используются два метода:

а) Метод импульсной характеристики

Импульсная характеристика измеряется путем сравнения входного и выходного импульсов испытываемого волокна.

Примечание. Частотная и импульсная характеристики могут быть определены с помощью преобразования Фурье для входного и выходного импульсов.

б) Метод частотной характеристики

В методе частотной характеристики амплитуда измеряется как функция частоты:

1) с помощью спектрального анализа выходного сигнала при его возбуждении входным импульсом;

2) с помощью выходного анализа сигнала качающейся частоты или дискретных частот.

38. МЕТОД С2А. ИСПУЛЬСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

38.1. Условия ввода излучения

Система ввода излучения с целью воспроизводимости должна обеспечить незначительное искажение импульса по сравнению с искажением импульса в испытуемом волокне. В противном случае форма выходного импульса системы ввода излучения должна регистрироваться и затем использоваться для расчета ширины полосы пропускания волокна. Могут применяться два способа ввода излучения.

а) «Полное возбуждение», при котором «конус возбуждения» больше максимальной теоретической числовой апертуры волокна. При таком возбуждении диаметр светового пятна приблизительно

равен диаметру сердечника волокна. Испытываемое волокно не должно иметь микроизгибов. Распределение светового потока на выходе системы возбуждения должно быть достаточно постоянным и не должно зависеть от устройства, соединяющего источник света с волокном (это свидетельствует о равномерном возбуждении всех мод).

Следующие устройства могут обеспечивать полные условия возбуждения:

1) система линз;

2) волоконная система возбуждения (например, генератор мод ступень-градиент-ступень).

Для волокон категории А1 полные условия возбуждения контролировать легче и, следовательно, воспроизводимость лучше.

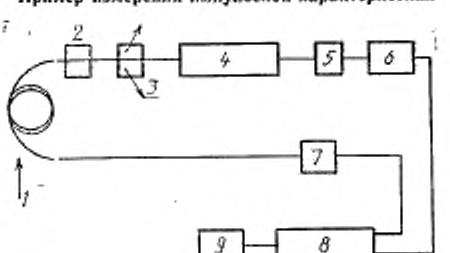
б) «Ограниченное возбуждение», при котором размер светового пятна и угол конуса позволяют моделировать характеристики волокон большой длины. Примером условий возбуждения такого типа могут быть условия возбуждения, описанные в п. 32.2. Система возбуждения должна быть подготовлена таким образом, чтобы изменения в распределении мод в волокне при юстировке волокна были минимальны.

38.2. Аппаратура

а) Примеры

Схема устройства представлена на черт. 21.

Измерение характеристики в основном диапазоне. Пример измерения импульсной характеристики



1 — испытываемое волокно; *2* — дополнительный фильтр мод; *3* — устройство выделения мод; *4* — смеситель мод; *5* — светоизлучающий источник; *6* — импульсный генератор; *7* — детектор; *8* — осциллограф; *9* — блок обработки данных

Черт. 21

б) Оптический источник

Оптический источник должен иметь известную заданную длину волны и спектральную ширину. У инжекционных лазерных диодов лазерное излучение должно значительно превышать спонтанное излучение. Для поддержания мощности, длины волны и спектральной ширины излучения на постоянном уровне в течение всего испытания следует принять необходимые меры. Необходимо указать частотную характеристику и нелинейность источника.

в) Фильтр оболочечных мод

См. п. 32.3 д).

г) Оптический детектор

Необходимо учитывать частотную характеристику оптического детектора. Предпочтительнее использовать высокоскоростной фотодиод. Обычно ширина полосы частот детектора значительно превышает ширину полосы испытываемого волокна. Однако могут быть введены поправки, поэтому должны быть указаны чувствительность полосы пропускания и нелинейность детектора. Чувствительность поверхности детектора должна быть равномерной.

д) Вспомогательное оборудование

Рекомендуется пользоваться следующим оборудованием, например:

перестраиваемый генератор серии оптических импульсов (с перестраиваемой шириной и частотой повторения);

стробирующий осциллограф;

графопостроитель.

Примечание. Принятые меры должны обеспечивать калибровку, линейность и стабильность системы.

38.3. Проведение измерений

а) Центровка ввода

Волокно должно быть сцентрировано с осью конуса ввода.

б) Юстировка детектора

Выходной конец волокна должен быть сцентрирован с поверхностью детектора так, чтобы все испускаемые лучи были приняты детектором.

в) Получение и обработка данных

Входной и выходной импульсы волокна фиксируют, и модовую ширину полосы пропускания определяют в соответствии с п. 36 а).

38.4. Результаты

38.4.1. *Обязательная информация*

В документации должны фиксироваться следующие данные:

дата испытания;

наименование испытания;

идентификация волокна;
длина образца волокна;
номинальная длина волны измерения;
ширина полосы (BW), определенная точкой при — 3 дБ (оптических) кривой амплитуда-частота.

38.4.2. *Дополнительная информация*

По запросу должны предоставляться следующие данные:
длина волны и ширина спектра источника;
тип ввода;
схема измерения;
полные кривые входного и выходного импульсов.

39. МЕТОД С2В. ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

39.1. Условия ввода излучения

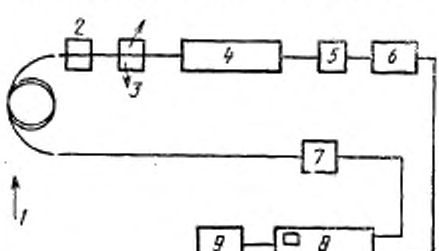
См. п. 38.1.

39.2. Устройство для проведения измерений

а) Пример

Схема устройства представлена на черт. 22.

Измерение характеристики в основном диапазоне. Пример измерения частотной характеристики



1 — испытываемое волокно; *2* — факультативный фильтр мод; *3* — устройство выделения мод; *4* — поглотитель помех моды; *5* — светоизлучающий источник; *6* — генератор качающейся частоты; *7* — детектор, *8* — спектральный анализатор или анализатор с решеткой, *9* — блок обработки данных

Черт. 22

б) Источник излучения

См. п. 38.2б).

в) Фильтр оболочечных мод

См. п. 32.3д).

г) Оптический детектор
См. п. 38.2г).
д) Вспомогательное оборудование:
анализатор спектра;
оптический синусоидальный генератор.

Примечание. Принимаемые меры должны обеспечивать калибровку, линейность системы и стабильность.

39.3. Проведение измерений
а) Юстировка ввода
Волокно должно быть сцентрировано с осью конуса ввода.
б) Юстировка детектора
Выходной конец волокна должен быть сцентрирован с поверхностью детектора так, чтобы все испускаемые лучи были приняты детектором.
в) Получение и обработка данных
Входные и выходные сигналы волокна фиксируют, а модовую ширину полосы пропускания вычисляют в соответствии с п. 36.б).
39.4. Результаты
39.4.1. *Обязательная информация*
В документации должны фиксироваться следующие данные:
наименование испытания;
идентификация волокна;
длина образца волокна;
номинальная длина волны измерения;
ширина полосы (*BW*), определенная точкой при —3 дБ (оптических) кривой амплитуда-частота.
39.4.2. *Дополнительная информация*
По запросу должны предоставляться следующие данные:
длина волны и ширина спектра источника;
тип ввода;
схема измерений;
полные кривые входной и выходной частотных характеристик;
спектральное разрешение измерительного оборудования.

40. МЕТОД С3. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К МИКРОИЗГИБАМ

В стадии рассмотрения.

41. МЕТОД С4. ПЕРЕДАВАЕМАЯ ИЛИ ИЗЛУЧАЕМАЯ МОЩНОСТЬ

41.1. Определения
41.1.1. *Оптическая непрерывность*

Оптическая непрерывность длины волокна определяется его способностью передавать оптическую энергию. Непрерывность можно проверить путем введения светового луча на одном конце волокна и измерения световой энергии на выходе на другом конце.

41.1.2. *Нарушение оптической непрерывности (разрыв)*

Нарушение оптической непрерывности (часто рассматриваемое как разрыв) в непрерывном волокне имеет место, когда фактическая мощность, измеренная на выходном конце волокна, меньше уровня мощности на входе на установленное значение при использовании определенного оборудования для запуска луча и измерений. Это значение устанавливается по соглашению между потребителем и изготовителем.

41.2. Назначение

Испытание для определения оптической непрерывности предназначено для того, чтобы определить, является ли оптическое волокно непрерывным и не произошло ли значительное увеличение затухания.

При испытании не проводится измерение, а только обнаруживается целостность или разрыв. Это необходимо, когда короткие длины волокна подвергаются механическому воздействию, например, во время испытаний на растяжение, изгибы, кручение, когда использование аппаратуры для измерения обратного рассеяния не может быть применено из-за ограничений разрешающей способности длины волокна.

Если испытываемое волокно имеет достаточную длину, применяются методы, основанные на использовании аппаратуры для измерения обратного рассеяния (методы С1С и С10В настоящего стандарта).

Обнаружение разрывов может быть необходимо:

а) в испытываемом образце перед механическим воздействием;

б) в волокне после механического воздействия.

41.3. Устройство для проведения измерений

41.3.1. *Общие сведения*

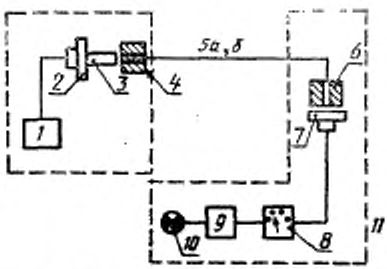
Устройство состоит из отдельных передающих и приемного блоков. Передающее устройство состоит из источника света, работающего от регулируемого стабилизированного источника постоянного тока.

Приемное устройство включает в себя оптоэлектронный детектор, стабилизированный усилитель и измеритель уровня принимаемой мощности. Возможно применение приемного устройст-

ва с электронной схемой, которая включает индикаторную лампу, если передаваемая энергия ниже установленного уровня.

На черт. 23 представлена типичная схема для проведения испытаний. Для ускорения испытаний передающее и приемочное устройства могут быть независимыми друг от друга.

Типичная схема для проведения испытаний по передаче или излучению мощности



1 — стабилизированный источник постоянного тока; *2* — лампа или светодиод; *3* — возбуждающее волокно; *4* — приспособление для установки волокна; *5 а)* контрольное волокно, *б)* испытуемое волокно; *6* — приспособление для установки волокна (при необходимости); *7* — PIN — фотодиодный детектор; *8* — прибор для регулирования чувствительности; *9* — пороговый детектор; *10* — индикатор; *11* — измеритель мощности

Черт. 23

Примечание. Позиции *6—10* могут быть заменены соответствующим измерителем мощности (*11*).

41.3.2. *Источник оптического излучения*

Источник оптического излучения представляет собой излучающее волоконно-оптическое оконечное устройство с большой излучающей поверхностью, например, лампа или светодиод (*2*). Излучающее волоконно-оптическое оконечное устройство питается от источника постоянного тока. Для удобства оно может быть сопряжено с возбуждающим волокном (*3*). Для исключения колебания потерь на излучающей стороне волоконно-оптического оконечного устройства, возбуждающее волокно, если оно используется, должно иметь ступенчатый показатель преломления и диаметр, значительно превышающий диаметр сердцевины испытуемого волокна.

41.3.3. *Оптический детектор*

Оптический детектор представляет собой приемное устройство, согласованное с используемым источником (*7*), например, PIN—фотодиод с пороговым детектором (*9*), настраиваемое с помощью потенциального делителя (*8*) и соединенное с индикатором (*10*). Может использоваться любое эквивалентное устройство. По причинам, указанным в п. 41.3.2, чувствительная поверхность детектора должна иметь большие размеры.

41.3.4. *Приспособление для установки волокна*

Концевые устройства (*4*) и (*6*) на сторонах передающего и приемного волоконно-оптических оконечных устройств должны обеспечивать быструю установку волокна.

41.3.5. *Контрольное волокно*

Контрольное волокно (5*a*) соединяется с источником и детектором и используется для определения нулевой калибровочной точки.

41.4. Проведение испытания

41.4.1. *Регулирование устройства*

а) Проверка работы устройства с помощью короткого отрезка контрольного волокна (5*a*).

б) При использовании устройства в соответствии с черт. 23 следует установить ручку контроля чувствительности (*8*) так, чтобы порог чувствительности детектора (*9*) был превышен и индикатор (*10*) действовал. (Если используется измеритель мощности, следует проверить, чтобы показания были достаточного уровня).

41.4.2. *Первоначальное измерение испытуемого образца*

а) Заменить контрольное волокно (5*a*) испытуемым волокном (5*b*).

б) Увеличить чувствительность (*8*) на предполагаемое значение затухания испытуемого волокна (5*b*).

в) Убедиться, что индикатор (10) действует. Действующий индикатор свидетельствует о целостности волокна.

г) Если индикатор (*10*) не действует, увеличивать чувствительность, пока он не начнет действовать. Определить значение (дБ), на которое пришлось повысить чувствительность по сравнению с указанной в п. 41.4.3*в*). (Если используется измеритель мощности, определить значение роста затухания при необходимой мощности и мощности, указанной в п. 41.4.1*б*).

д) Если увеличение затухания превышает заданное значение, волокно разрушено.

41.4.3. *Измерение после механического воздействия*

Измерение выполняется только на длине волокна, которое не было повреждено до начала механического воздействия.

а) Подвергнуть волокно требуемому механическому воздействию.

б) При необходимости заменить волокно в испытательном устройстве.

в) Увеличивать чувствительность (*8*), пока не начнет действовать индикатор (*10*). Вычислить требуемую чувствительность относительно полученной в п. 41.4.2г). (Если используется измеритель мощности, выполните расчет, используя относительные показания). Если рост затухания превышает заданное значение вследствие механических воздействий, волокно считается разрушенным.

41.5. Фиксируемые результаты

Длина волокна и предполагаемое затухание.

Значение при установке первоначальной чувствительности (п. 41.4.1б).

Значение при установке чувствительности для испытуемого волокна и показание индикатора до начала механического воздействия (пп. 41.4.2б) и 41.4.2в)).

Если индикатор не действовал, значение при установке чувствительности для его нормального функционирования.

Значение при установке чувствительности после механического воздействия (п. 41.4.3в).

42. МЕТОД С5. ЗАДЕРЖКА ИМПУЛЬСА И ФАЗОВЫЙ СДВИГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ

42.1. Назначение

Метод позволяет определить коэффициент дисперсии одномодовых и многомодовых волокон путем измерения групповой задержки на различной длине волны.

42.2. Описание

Для определения дисперсии используют два метода, отличающиеся по типу оптического источника и по методу измерения задержки.

Метод С5А предусматривает использование лазерных диодов или светоизлучающих диодов, работающих в требуемом диапазоне длин волн.

Метод С5В предусматривает использование лазерных диодов или лазера, выполненного на рамановских волокнах, работающих в требуемом диапазоне длин волн.

42.3. Образец

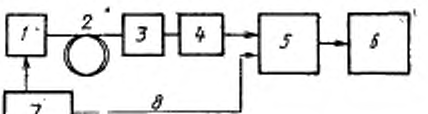
Испытание проводят на строительной длине волокна. Волокно должно находиться на соответствующем накопительном устройстве и перед испытанием должно быть подвергнуто кондиционированию.

42.4. Метод СБА. Фазовый сдвиг

42.4.1. *Оборудование*

Принципиальные схемы расположения испытательного оборудования, в котором используются лазерные и светоизлучающие диоды, приведены на черт. 24 и 25.

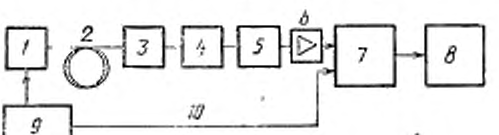
Расположение испытательного оборудования, в котором используются лазерные диоды (фазовый сдвиг)



1 — лазерные диоды; *2* — испытуемое волокно; *3* — аттенюатор; *4* — оптический детектор; *5* — векторный вольтметр; *6* — ЭВМ; *7* — генератор импульсов; *8* — контрольный сигнал

Черт. 24

Расположение испытательного оборудования, в котором используются светодиоды (фазовый сдвиг)



1 — светодиоды; *2* — испытуемое волокно; *3* — селектор длины волны; *4* — аттенюатор; *5* — оптический детектор; *6* — усилитель; *7* — векторный вольтметр; *8* — ЭВМ; *9* — генератор импульсов; *10* — контрольный сигнал

Черт. 25

а) Оптический источник

Используют несколько лазерных светоизлучающих диодов, работающих на различной длине волны и перекрывающих весь требуемый диапазон длин волн.

б) Оптический детектор

Чувствительность и диапазон оптического детектора должны соответствовать выбранному диапазону длин волн.

в) Генератор импульсов

Генератор импульсов используют для модулирования оптического источника на требуемой частоте, а также для выработки контрольного сигнала для векторного вольтметра.

г) Обработка сигналов

Сдвиг фаз на различных длинах волн измеряется векторным вольтметром.

д) Селектор длины волны

Если используют источник с широким спектром, то для выбора требуемой длины волны, на которой измеряют групповую задаржку, следует применять селектор. Для этих целей можно использовать монохроматор или набор фильтров интерференции. В зависимости от типа измерений селектор используют на входе или выходе измеряемого волокна.

42.4.2. *Проведение испытания*

а) Испытуемое волокно подсоединяют к лазерному диоду или светодиоду.

б) С помощью векторного вольтметра измеряют сдвиг фазы между контрольным сигналом и сигналом, полученным на выходе на различных длинах волн. Групповая задержка в зависимости от длины волны $\tau_g(\lambda)$ определяется по формуле

$$\tau_g(\lambda) = \frac{\varphi(\lambda)}{2\pi f_0},$$

где f_0 — рабочая частота, Гц;

$\varphi(\lambda)$ — измеренный сдвиг фазы, рад.

в) На основе измеренных значений групповой задержки вычерчивается соответствующая кривая, затем путем взятия производной рассчитывается коэффициент дисперсии в зависимости от длины волны. На черт. 28 и 29 изображена относительная временная задержка и коэффициент дисперсии в зависимости от длины волны. Правильное построение кривой очень важно, т. к. кривая влияет на значение дисперсии, получаемое в результате измерений.

42.4.3 *Результаты*

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое испытательное оборудование;

частоту модуляции;

тип оптического источника;

показатели волокна с указанием его длины и вида упаковки;

характеристики селектора длины волны;

типы оптического детектора;

характеристики векторного вольтметра;

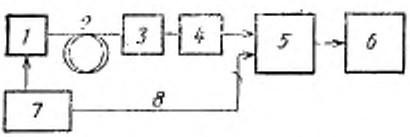
график времени относительной задержки, а также коэффициент дисперсии во всем рассматриваемом спектральном диапазоне. Кроме этого, указывают длину волны нулевой дисперсии и тип используемой кривой

42.5. Метод С5В. Задержка импульса

42.5.1. *Оборудование*

Испытательное оборудование, в котором используются лазерные диоды или рамановские лазеры, представлено на принципиальных схемах (черт. 26 и 27).

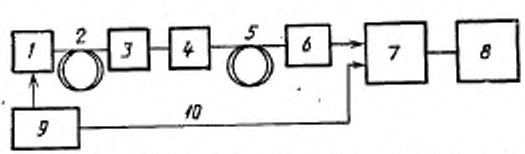
Расположение испытательного оборудования, в котором используются лазерные диоды (метод определения задержки)



1 — лазерные диоды; *2* — испытуемое волокно; *3* — аттенюатор; *4* — оптический детектор; *5* — осциллограф; *6* — ЭВМ; *7* — синхронизирующая цепь; *8* — триггер.

Черт. 26

Расположение испытательного оборудования, в котором используется рамановский лазер (метод определения задержки)



1 — лазер на алюмоиттриевом гранате; *2* — рамановское волокно; *3* — аттенюатор; *4* — монохроматор; *5* — испытуемое волокно; *6* — оптический детектор; *7* — осциллограф; *8* — ЭВМ; *9* — синхронизирующая цепь; *10* — триггер

Черт. 27

а) Оптический источник

1) Рамановский лазер

Рамановский лазер можно изготовить на основе ИАГ-лазера, кристалл которого легирован Nd, оптического волокна, генериру-

ющего рамановское излучение, и оптического аттенюатора. Такой лазер будет генерировать сигналы в широком диапазоне длин волн.

В качестве рамановского волокна используют соответствующее оптическое волокно. Оптический аттенюатор необходим для регулирования мощности возбуждения рамановского волокна.

2) Лазерные диоды

Используют несколько лазерных диодов, работающих на разной длине волны для того, чтобы обеспечить требуемый диапазон длин волн.

б) Синхронизирующая цепь и триггер задержки

Сигналы, генерируемые высокостабильным синтезатором частоты, используются для управления оптическим источником. Синхронизирующая цепь подает также с определенной задержкой триггерные импульсы на осциллограф.

в) Оптический детектор

Чувствительность и ширина полосы частот оптического детектора должны быть согласованы с выбранной длиной волны в требуемом диапазоне.

г) Осциллограф

Для наблюдения за оптическими импульсами используется широкополосный осциллограф, работающий в режиме реального времени, или стробоскопический осциллограф. В сочетании с осциллографом может использоваться процессор сигналов, предназначенный для устранения помех или фазового дрожания формы импульса.

д) Монохроматор

Если используется рамановский лазер, то монохроматор применяется для выбора длины волны оптических сигналов, подаваемых в испытуемое волокно.

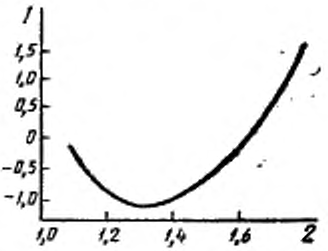
42.5.2. *Проведение испытания*

а) Испытуемое волокно подсоединяют к лазерному диоду или рамановскому лазеру.

б) Время задержки сигнала, проходящего по испытуемому волокну при различной длине волны, определяют с помощью осциллографа. Если используют рамановский лазер, то требуемую длину волны выбирают с помощью монохроматора.

в) На основе измеренных значений групповой задержки строят кривую и путем деривации получают коэффициент дисперсии в зависимости от длины волны. На черт. 28 и 29 изображены относительная задержка и коэффициент дисперсии в зависимости от длины волны.

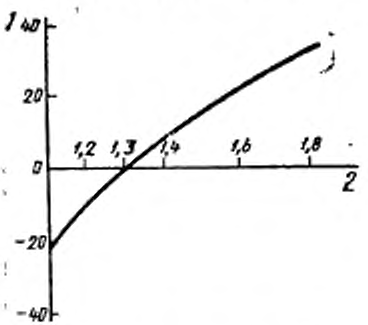
Время относительной задержки в зависимости от длины волны



1 — время относительной задержки (нс);
2 — длина волны (мкм).

Черт. 28

Коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волны



1 — коэффициент (хроматической) дисперсии (пс (нм·км)); 2 — длина волны (мкм)

Черт. 29

42.5.3. *Результаты*

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое испытательное оборудование;

тип оптического источника;

показатели волокна с указанием его длины и вида упаковки;

характеристики монохроматора (при необходимости);

показатели и длину рамановского волокна (при необходимости);

тип оптического детектора;

тип осциллографа;

график времени относительной задержки и рассчитанную общую дисперсию во всем интересующем спектральном диапазоне, а также длину волны нулевой дисперсии (при необходимости).

43. ЧИСЛОВАЯ АПЕРТУРА. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТА В ДАЛЬНЕМ ПОЛЕ

43.1. Рабочие определения. Числовая апертура

Числовая апертура (NA) градиентного многомодового волокна является важным параметром, который показывает способность волокна улавливать свет. Он используется для прогнозирования эффективности ввода, потерь в местах сращивания и стойкости к микро- и макроизгибам. Теоретическая максимальная градиентного многомодового волокна NA определяется по формуле $NA_{th}=\sin\Theta_m$, где Θ_m является наибольшим углом меридианного луча, который может направляться волокном. Выражение NA через профиль показателя преломления волокна:

$$NA_{th}=\sqrt{n_1^2-n_2^2}$$

или

$$NA_{th}=n_1\sqrt{2\Delta},$$

где $\Delta=\frac{n_1-n_2}{n_1}$ при $\Delta\ll 1$,

n_1 — максимальный показатель преломления сердечника,

n_2 — показатель преломления оптической оболочки.

NA может быть определена по диаграмме излучения в поле дальней зоны, измеряемой на короткой длине волокна, или по профилю показателя преломления волокна. При использовании метода поля дальней зоны получают диаграмму интенсивности излучения волокна $I(\Theta)$. NA_{ff} определяют как синус половины угла, при котором эта интенсивность соответствует 5 % ее максимального значения.

Отношение между числовой апертурой в поле дальней зоны (NA_{ff}) и максимальной теоретической числовой апертурой (NA_{th}) зависит также от длины волны, используемой при измерениях в поле дальней зоны и от профиля показателя преломления. Чаще всего измерения в поле дальней зоны проводят на длине

волны 850 нм, тогда как измерения профиля показателя преломления проводят на 540 или 633 нм.

Для этих длин волн отношение между NA_{ff} и NA_{fn} задается формулой

$$NA_{ff} = kNA_{fn}, \qquad (1)$$

где $k=0{,}95$, если измерение проводят на 540 нм и $k=0{,}96$, если измерение проводят на 633 нм. NA_{ff} на 850 нм будет числовой апертурой волокна. Это значение можно получить непосредственно при измерении в поле дальней зоны на 850 нм или косвенно на базе измерения профиля, используя уравнение (1).

43.2. Метод С6. Распределение света в дальнем поле

Метод описывает измерение углового распределения интенсивности излучения. Числовая апертура многомодового оптического волокна может быть вычислена на основе результатов этого измерения с использованием уравнения для NA_{ff}, приведенного в п. 43.1.

43.2.1. *Аппаратура-устройство ввода*

43.2.1.1. Источник света

Применяют некогерентный источник света, чтобы получить по всей поверхности конца образца устойчивую освещенность (изменение интенсивности освещенности менее 10 %). Он должен быть стабильным по интенсивности излучения и по положению в течение всего времени проведения измерений.

43.2.1.2. *Система оптики ввода*

Используют систему оптических компонентов для создания монохроматического пятна (общая ширина на половине максимальной амплитуды менее 100 нм) с устойчивой яркостью, диаметром, превышающим диаметр конца образца, на котором проводят измерения, и числовой апертурой, превышающей числовую апертуру этого образца. Кроме отдельно оговоренных случаев, центральная длина волны должна составлять (850±25) нм.

Используют средства проверки центровки конца. Можно использовать оптические фильтры для ограничения спектральной ширины источника.

43.2.1.3. *Держатель вводного конца волокна и центровка*

Средства удержания вводного конца образца, на котором проводятся измерения, должны обеспечивать устойчивое и воспроизводимое регулирование его положения без значительной деформации волокна. Соответствующие средства применяют для центровки поверхности ввода с вводимым светом.

43.2.1.4. *Выделение мод оболочки*

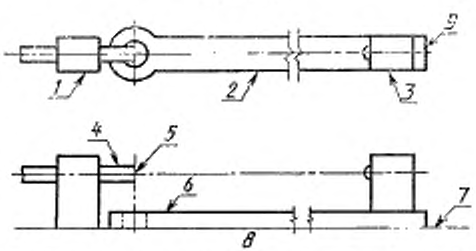
Соответствующие средства должны обеспечить устранение передачи света в оболочку образца, на котором проводятся измерения. Как правило, эту роль выполняет покрытие волокна. В противном случае необходимо использовать подавитель мод оболочки на обоих концах образца.

43.2.2. *Аппаратура. Выходное устройство и детектирование*

Могут применяться три (A, B, C) эквивалентных метода для детектирования углового распределения (в поле дальней зоны) интенсивности излучения образца, на котором проводятся измерения. Методы A и B являются угловым сканированием диаграммы в поле дальней зоны, метод C заключается в сканировании пространственного результата преобразования угловой диаграммы интенсивности излучения (может использоваться сканирующий детектор малой или большой поверхности).

43.2.2.1. *Угловое сканирование, метод A (см. черт. 30а)*

Метод A



1 — зажим; *2* — вид сверху; *3* — детектор; *4* — образец; *5* — выходной конец; *6* — подвижный кронштейн; *7* — основание; *8* — вид сбоку; *9* — ноль

Черт. 30а

43.2.2.1.1. Держатель выходного конца волокна и центровка

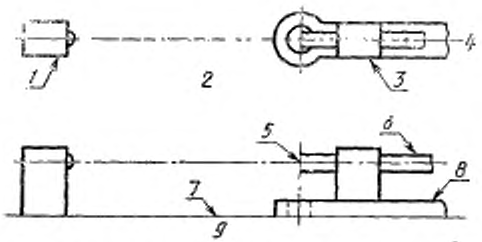
Средства удержания и центровки выходного конца образца, на котором проводятся измерения, должны быть такими, чтобы плоскость выходного торца волокна была перпендикулярна к оси вращения оптического детектора и чтобы ось волокна совпадала с этой осью вращения. Например, возможно применение вакуумного зажима, смонтированного на микрометрическом позиционере X—Y—Z микроскопа, позволяющего сцентрировать конец волокна. Устройство может иметь гониометр или плиту, приводимую во вращение шаговым двигателем.

43 2.2.1.2. Механические системы детектора

Применяют такие устройства для вращения оптического детектора, чтобы детектор описывал дугу, достаточную для практического охвата угла излучения, выходящего из испытываемого образца (например, тарированный гониометр). Ось вращения механизма должна совпадать с поверхностью конца образца, а плоскость вращения механизма должна быть параллельна оси образца. Должна быть возможность зафиксировать относительное угловое положение детектора к оси испытуемого образца.

43.2.2.2. *Угловое сканирование, метод В (см. черт. 30б)*

Метод В



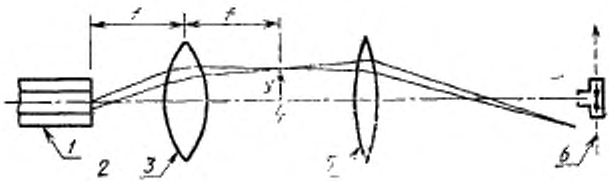
1 — детектор; *2* — вид сверху; *3* — зажим; *4* — ноль; *5* — выходной конец; *6* — образец; *7* — основание; *8* — подвижный кронштейн; *9* — вид сбоку

Черт. 30б

Испытываемый образец удерживают таким образом, чтобы выходной торец детектора был на оси вращения оптического волокна и чтобы ось детектора совпадала с осью вращения. Этот механизм (например, гониометр или прецизионная плита вращения) должен описывать такую дугу, чтобы все излучение на выходе испытываемого образца в плоскости вращения попадало на неподвижный детектор. То есть угол вращения должен быть больше полного угла излучения на выходе испытываемого образца. Угол между осью образца и линией, соединяющей детектор и выходной торец образца, должен фиксироваться в документации.

43.2.2.3. Сканирование диаграммы пространственного поля, метод С (см. черт. 30в)

Метод С



1 — образец; *2* — поле ближней зоны; *3* — объектив L_1 (преобразователь); *4* — поле дальней зоны; *5* — объектив L_2 (транслятор); *6* — сканирующий детектор (типовой)

Черт. 30в

43.2.2.3.1. Держатель конца волокна

Следует использовать устройство, поддерживающее и ориентирующее выходной конец испытываемого образца и позволяющее проводить устойчивую и воспроизводимую регулировку положения.

43.2.2.3.2. Преобразование в поле дальней зоны и проецирование

Для пространственного изображения поля испытываемого образца в дальней зоне применяют соответствующие устройства, например, объектив микроскопа или другие хорошо скорректированные объективы, при этом получают Фурье-образ выходной диаграммы волокна в поле ближней зоны. Эта диаграмма или ее изображение анализируют с помощью диафрагмированного детектора, так чтобы зарегистрировать силу излучения поля в дальней зоне. Диаметр диафрагмы менее или равен половине предела дифракции системы

$$d \leq \frac{1{,}22M\lambda f}{2D},$$

где d — диаметр диафрагмы, мкм;

λ — длина волны, выходящей из волокна, нм;

f — фокусное расстояние преобразующего объектива, мм;

D — диаметр сердечника волокна, мкм;

M — увеличение задней фокусной плоскости преобразующего объектива по сравнению с анализируемой плоскостью.

43.2.2.3.3. Сканирующее устройство

Используют метод анализа диаграммы в поле дальней зоны в зависимости от диафрагмированного детектора.

43.2.2.3.4. Калибровка устройства

Должна быть проведена калибровка с целью измерения степени преобразования, дающей перемещение сканирующего устройства в зависимости от реального перемещения при сканировании в задней фокальной плоскости преобразующего объектива в поле дальней зоны. В связи с этим может использоваться градуированная мера, точно установленная в задней фокальной плоскости L_1.

Кроме того, соотношение между положением анализатора в плоскости пространственного преобразования (задняя фокальная плоскость L_1 на черт. 30в) и углом излучения (Θ) относительно выходной оси образца выражается следующим образом:

$$y = f\sin\Theta,$$

где y — расстояние от оптической оси до плоскости пространственного преобразования;

f — фокусное расстояние преобразующего объектива L_1;

Θ — угол относительно оптической оси.

43.2.2.3.5. Система регистрации

С помощью соответствующих средств регистрируют $E(y)$ обнаруженную интенсивность излучения в зависимости от положения y анализатора и корректируют обнаруженную интенсивность излучения по формуле

$$I(\Theta) = E(y)/\cos\Theta,$$

где $I(\Theta)$ — распределение угловой интенсивности излучения, обнаруженной угловым анализатором;

y — расстояние от диафрагмированного детектора до оптической оси;

$E(y)$ — энергетическая светимость на расстоянии y от оптической оси;

Θ — угол относительно оси образца.

43.2.2.4. *Оптический детектор*

Используют детектор с линейностью не хуже 5 % в измеряемом диапазоне интенсивности падающего излучения. Может применяться диафрагма для уменьшения эффективного размера детектора и улучшения разрешения. Детектор или диаметр диафрагмы определяют на основе требуемого углового разрешения по формуле

$$D = \frac{\Theta?}{0{,}003},$$

где D — диаметр апертуры детектора, мкм;

Θ — желаемое угловое разрешение, ...°.

R — расстояние от выходного конца образца до детектора или до диафрагмы, см.

Обычно используется разрешение менее или равное 0,5°.

R должно удовлетворять ограничительному условию поля дальней зоны:

$$R \geqslant \frac{d^2}{\lambda} \ (R, \text{ мм}),$$

где d — диаметр излучения испытываемого образца, мкм;

λ — длина центральной волны оптического источника, нм.

Соответствующий диаметр диафрагмы или детектора для метода С приведен в п. 43.2.2.3 2.

43.2.3. *Образец для проведения измерений*

Образец для проведения измерений должен быть длиной (2,0±0,2) м и быть характерным для данного волокна.

Концы измеряемого образца должны быть гладкими, плоскими и перпендикулярными к оси волокна. Точность измерений не может быть получена при неперпендикулярности выходного торца. Рекомендуемые концевые углы — менее 2°.

43.2.4. *Проведение измерения*

43.2.4.1. Концы образца закрепляют в держателях. Входной торец образца должен быть приблизительно в центре входной зоны сфокусированного изображения с постоянной яркостью.

43.2.4.2. Оптический источник регулируют на требуемую длину волны и спектральную ширину.

43.2.4.3. Диаграмму излучения в поле дальней зоны анализируют вдоль диаметра и фиксируют интенсивность излучения в зависимости от углового положения.

43.2.5. *Расчеты*

43.2.5.1. *Угол с 5-процентной интенсивностью излучения* Θ_5

Анализируемая диаграмма должна быть нормирована по отношению к пиковому значению. Фиксируют точки диаграммы, для которых интенсивность излучения составляет 5 % максимума. Половину угла между этими двумя точками фиксируют как Θ_5.

43.2.5.2. *Числовая апертура* (NA_{ff})

Числовая апертура в поле дальней зоны определяется по формуле

$$NA_{ff} = \sin\Theta_5.$$

43.2.6. *Документация*

43.2.6.1. В документации должна фиксироваться следующая информация:

дата измерения;

идентификация образца, на котором проводились измерения;

результаты измерений, полученные в соответствии с п. 43.2.5;

длина волны источника, если она отлична от 850 нм.

43.2.6.2. Дополнительно может представляться следующая информация:

длина центральной волны и спектральная ширина интерференционных фильтров, если они применяются;

вид калибровки устройства обнаружения и угловое разрешение;

размер и числовая апертура излучаемого светового пятна;

метод подавления мод оболочки;

метод анализа в соответствии с п. 43.2.2.

43.3. Устройство

а) Источник

Некогерентный источник света со стабильным оптическим излучением на протяжении времени проведения измерений и с заданной длиной волны.

б) Детектор

Детектор должен иметь линейную характеристику в требуемом диапазоне измерений (выходной ток детектора должен быть линейным относительно мощности получаемого света). Могут быть использованы устройства, подобные описанным в методе А2.

в) Ввод излучения

Размеры светового пятна должны соответствовать, по меньшей мере, площади поперечного сечения волокна, а числовая апертура вводимого пучка света должна быть, по меньшей мере, равна числовой апертуре образца.

г) Фильтр оболочечных мод

Во избежание возбуждения оболочечных мод следует применять фильтр оболочечных мод.

д) Регистрирующий прибор

Графопостроитель или дисплей.

43.4. Проведение измерения

а) Принцип измерения (черт. 30)

Интенсивность излучения (количество света на единицу телесного угла) определяется как функция полярного угла в одной плоскости с осью волокна (диаграмма направленности излучения). Расстояние между концом образца и детектором должно быть большим по сравнению с диаметром сердечника оптического волокна. Методика детектирования соответствует описанной в методе А2 «Распределение света в ближнем поле».

б) Подготовка

Образец закрепляют в держателе, и на него направляют пучок света в соответствии с черт. 30.

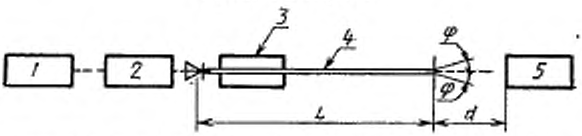
в) Измерение

Интенсивность излучения определяется как функция полярного угла в одной плоскости, совпадающей с осью волокна.

43.5. Результаты

Строится график полной интенсивности излучения. В многомодовых оптических волокнах числовая апертура (=sinφ) вычисляется по углу φ, соответствующему 5 %-му уровню значений интенсивности излучения от максимального (черт. 30).

Принцип измерения



1 — источник света; *2* — устройство для возбуждения волокна; *3* — фильтр оболочечных мод; *4* — волокно; *5* — детектор

Черт. 30

44. МЕТОД С7. ДЛИНА ВОЛНЫ ОТСЕЧКИ

44.1. Назначение

Измерение длины волны отсечки в одномодовых оптических волокнах.

Эта длина волны является предельной, выше которой мода второго порядка LP_{11} уже не распространяется.

Примечания:

1. Измеренное значение, в общем, зависит от длины образца. Длину волны отсечки измеряют на образце длиной 2 м.

2. Испытуемый образец изгибают в виде одной петли радиусом 140 мм.

44.2. Описание методов

Используют два метода измерений:

а) Метод С7А. Метод передаваемой мощности

Метод основан на изменении передаваемой мощности в зависимости от длины волны. Сигнал передается при определенных условиях по волокну небольшой длины, а его мощность сравнивается с контрольной передаваемой мощностью. Эту контрольную передаваемую мощность получают двумя способами:

1) путем использования испытуемого волокна, согнутого кольцом, радиус которого менее 140 мм или

2) путем использования многомодового волокна длиной от 1 до 2 м.

б) Метод С7В. Зависимость диаметра модового пятна от длины волны

Метод основан на изменении диаметра модового пятна в зависимости от длины волны, посредством чего определяют длину волны отсечки.

Для определения диаметра модового пятна используют известные методы, позволяющие изменять длину волны источника света.

Длину волны отсечки λ_c определяют по графику диаметра модового пятна в зависимости от длины волны.

В одномодовой области (т. е. при распространении на большей длине волны) диаметр модового пятна основной моды уменьшается почти в линейной зависимости с уменьшением длины волны. По мере приближения к длине волны отсечки влияние моды второго порядка вызывает значительно большее изменение диаметра модового пятна, чем это характерно для одномодовой области.

44.3. Метод С7А. Метод передаваемой мощности

44.3.1. *Оборудование*

а) Источник света

Следует использовать источник света, ширина спектральной линии которого (полная ширина спектра на уровне половины амплитуды) составляет 10 нм. Источник должен обеспечивать стабильность интенсивности излучения и постоянство длины волны в течение всего измерения.

б) Модуляция

Обычно проводится модуляция источника света в целях улучшения отношения сигнал/шум на приемнике. Если это применяется, то детектор должен быть сблокирован с системой обработки импульсов, которая должна быть синхронизирована по частоте модуляции с источником света.

Детекторная система должна быть достаточно линейной.

в) Условия возбуждения

Условия возбуждения должны обеспечивать возбуждение мод LP_{01} и LP_{11}. Такими условиями возбуждения могут, например, являться:

1) подсоединение многомодового волокна или

2) возбуждение с помощью соответствующей оптической системы.

г) Фильтр оболочечных мод

Фильтром оболочечных мод является устройство, способствующее преобразованию оболочечных мод в моды высвечивания; в ре-

зультате чего оболочечные моды удаляются из волокна. Следует обращать внимание на то, чтобы не повлиять на распространение моды LP_{11}.

д) Оптический детектор

Для улавливания всей энергии на выходе из волокна следует использовать соответствующий детектор. Его спектральные характеристики должны быть совместными со спектральными характеристиками источника. Детектор должен быть однородным и должен иметь линейные характеристики.

44.3.2. *Проведение испытания*

а) Передача по испытуемому образцу

Образец волокна длиной 2 м помещают в испытательное оборудование и сгибают в виде свободной петли с постоянным радиусом 140 мм. Не следует сгибать образец радиусом менее 140 мм или помещать образец в зажимы, т. к. это может вызвать снижение длины волны отсечки.

Выходную мощность $P_1(\lambda)$ регистрируют на каждой длине волны в диапазоне, охватывающем предполагаемую длину волны отсечки.

б) Передача по контрольному образцу

Можно применять метод 1) или 2).

1) Используя испытуемый образец и поддерживая фиксированные условия возбуждения, измеряют мощность на выходе $P_2(\lambda)$ в том же диапазоне длин волн. Образец должен быть согнут в виде минимум одной петли достаточно небольшого диаметра для обеспечения фильтрации моды LP_{11}. Рекомендуемый радиус петли — 30 мм.

2) $P_3(\lambda)$ измеряют на небольшом отрезке (1—2 м) многомодового волокна в том же диапазоне длин волн.

в) Расчеты

Отношение передаваемой мощности $P_1(\lambda)$ к $P_2(\lambda)$ или $P_1(\lambda)$ к $P_3(\lambda)$ рассчитывают следующим образом:

$$R(\lambda)=10\lg\frac{P_1(\lambda)}{P_i(\lambda)}\ (\text{дБ}),$$

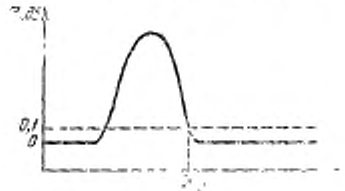
где $i=2$ и $i=3$ для методов 1) и 2) соответственно.

г) Определение длины волны отсечки

Если используется метод 1), то длиной волны отсечки является максимальная длина волны, при которой $R(\lambda)=0{,}1$ дБ (см. черт. 31).

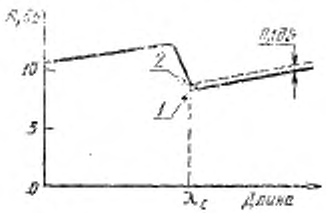
Если используется метод 2), то длину волны отсечки определяют при пересечении кривой $R(\lambda)$ с прямой линией (1), проведенной параллельно прямой (2) и выше ее на 0,1 дБ (см. черт. 32).

Типичный график длины волны отсечки с использованием в качестве эталона одномодового волокна



Черт. 31

Типичный график длины волны отсечки (в качестве опорного используется многомодовое волокно)



Черт. 32

д) Определение коэффициента затухания моды LP_{11}

Одномодовое волокно длиной около 2 м методом обрыва укорачивают до длины около 0,5 м, сохраняя при этом условия возбуждения. Затем измеряют мощность на выходе $P_4(\lambda)$ в том же диапазоне длин волн. Не следует подвергать волокно изгибам радиусом менее 140 мм. Коэффициент затухания линейной моды LP_{11} определяют по формуле

$$a_{11}(\lambda) = \frac{10}{L} \lg \frac{P_1/P_2 - 1}{P_4/P_3 - 1}, \text{ (дБ/м)},$$

где L — длина окружности петли номинальным радиусом 140 мм, м.

44.3.3. *Результаты*

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое испытательное оборудование;

условия возбуждения;

тип контрольного образца;

температуру образца и условия окружающей среды (при необходимости);

показатели волокна;

диапазон длин волн, в котором выполнялись измерения;

длина волны отсечки и график $R(\lambda)$ (при необходимости);

значение $a_m(\lambda)$ (при необходимости) для установленной длины волны либо график этой величины.

44.4. Метод С7В. Зависимость диаметра модового пятна от длины волны

44.4.1. *Оборудование*

Испытательное оборудование применяют то же, что и для измерения диаметра модового пятна по методам С9А или С9В, но с необходимой корректировкой, обеспечивающей изменение длины волны в требуемом диапазоне.

Если используют метод проходящих полей, то в качестве образца берут отрезок волокна длиной 2 м и скручивают его в виде петли радиусом 140 мм. Если используют метод поперечного сдвига, то с каждой из сторон места соединения (муфты) должен располагаться отрезок волокна длиной 2 м.

Затем каждый из двухметровых отрезков волокна сворачивают в виде петли радиусом 140 мм.

Независимо от используемого метода следует предотвратить распространение оболочечных мод, не оказывая влияния на распространение мод более высокого порядка.

44.4.2. *Проведение измерений*

Диаметр модового пятна измеряют при различной длине волны в требуемом диапазоне длин волн.

Вычерчивают график зависимости диаметра модового пятна от длины волны и выполняют линейную экстраполяцию, как показано на черт. 33.

Длину волны отсечки определяют в месте пересечения линий экстраполяции.

44.4.3. *Результаты*

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое испытательное оборудование и метод измерения диаметра модового пятна;

показатели волокна;

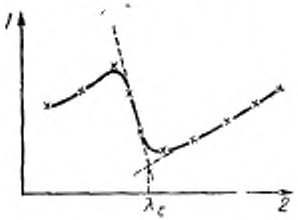
график зависимости диаметра модового пятна от длины волны;

длину волны отсечки;

точность и повторяемость результатов;

температуру образца и условия окружающей среды (при необходимости).

Типичный пример измерения диаметра модового пятна в зависимости от длины волны, выполненного по методу поперечного сдвига



1 — диаметр модового пятна; *2* — длина волны.

Черт. 33

45. МЕТОД С8. МОДОВАЯ ДИСПЕРСИЯ

Для рассмотрения в будущем.

46. МЕТОД С9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА МОДОВОГО ПЯТНА

Применяются два метода измерения диаметра модового пятна одномодовых оптических волокон.

а) Метод С9А. Метод поперечного сдвига

Метод используется для измерения оптической мощности, передаваемой от одного отрезка волокна через место соединения с изменяемым сдвигом в другой отрезок волокна. Эта мощность является функцией относительного поперечного сдвига при определении диаметра модового пятна.

б) Метод С9В. Метод проходящих полей

Метод используется для измерения параметров ближнего и дальнего полей одномодовых оптических волокон. Он позволяет определить диаметр модового пятна, некруглость, неконцентричность и диаметр светоотражающей оболочки.

46.1. Метод С9А. Метод поперечного сдвига

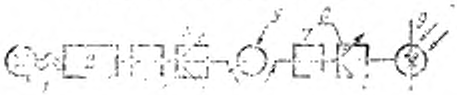
46.1.1. *Оборудование*

Принципиальная схема расположения испытательного оборудования приведена на черт. 34.

46.1.2. *Источник света*

Используют источник света с шириной спектра излучения не более 10 нм (полная ширина на уровне половины интенсивности излучения). Источник должен обеспечивать постоянство интенсивности излучения и неизменность длины волны в течение всего измерения.

Схема расположения оборудования



1 — источник света; *2* — система возбуждения; *3* — фильтр мод; *4* — фильтр оболочечных мод; *5* — соединитель; *6* — испытуемое одномодовое волокно; *7* — фильтр мод; *8* — фильтр оболочечных мод; *9* — детектор

Черт. 34

46.1.3. *Модуляция*

Для улучшения отношения сигнал/шум на приемнике обычно модулируют источник света. В этом случае оптический детектор подсоединяют к системе обработки сигнала, синхронизированной с частотой модуляции источника. Детекторная система должна быть достаточно линейной.

46.1.4. *Условия возбуждения*

Должно обеспечиваться возбуждение основной моды. Условия возбуждения могут быть следующими:

а) соединение с волокном;

б) возбуждение с помощью соответствующей оптической системы.

Необходимо обеспечить, чтобы моды более высокого порядка не распространялись на длине опорного отрезка волокна. Может возникнуть необходимость изогнуть волокно для того, чтобы удалить моды более высокого порядка.

46.1.5. *Оборудование*

а) Фильтры оболочечных мод

Необходимо принять соответствующие меры, предотвращающие распространение оболочечных мод.

б) Соединитель

Конструкция соединителя должна позволять проводить юстировку относительного смещения осей волокон по методу, описанному в п. 46.1.8.

в) Оптический детектор

Оптический детектор должен регистрировать все излучение на выходе. Он должен иметь линейные характеристики.

46.1.6. *Подготовка испытываемого образца*

Общая длина испытываемого образца должна быть около 2 м. Этот отрезок волокна разрезают на две равные части. Торцы волокон, устанавливаемых в соединитель, должны быть достаточно чистыми, ровными и перпендикулярными к оси волокна.

Примечание. Неперпендикулярность торцов к оси волокна для обоих волокон не должна быть более 1°.

46.1.7. *Условия сращивания*

Оси сращиваемых волокон должны быть достаточно параллельными. Зазор между торцами волокон должен составлять менее 5 мкм. Пространство между торцами волокон заполняют иммерсионной жидкостью.

46.1.8. *Проведение испытаний*

Волокно устанавливают в измерительное оборудование. Концы волокон устанавливают в плоскости, перпендикулярной к осям волокон, таким образом, чтобы мощность, передаваемая в месте соединения, была максимальной. Затем одно из волокон перемещают в поперечном направлении и измеряют мощность в зависимости от расстояния смещения.

Диаметром модового пятна является расстояние между двумя точками, в которых измеренная мощность составляет $1/e$ максимальной мощности.

Примечание. Если для измерения длины волны отсечки используют метод С7, то в него вносят следующие изменения:

а) удаляют фильтры мод;

б) образец общей длиной 4 м разрезают на две приблизительно равные части

46.1.9. Результаты

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое испытательное оборудование;

показатели волокна;

центральную длину волны источника света;

условия окружающей среды и температуру (при необходимости);

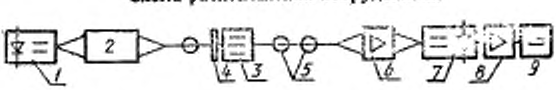
диаметр модового пятна.

46.2. Метод С9В. Метод проходящих полей

46.2.1. *Оборудование*

Монтажная схема приведена на черт. 35.

Схема расположения оборудования



1 — источник; *2* — оптика для возбуждения волокна; *3* — фильтр оболочечных мод; *4* — фильтр мод; *5* — волокно; *6* — увеличительная оптика; *7* — детектор; *8* — усилитель; *9* — регистратор данных

Черт. 35

При измерении ближнего поля в плоскости детектора отображается дальний конец волокна в увеличенном виде. Увеличительные приборы, используемые при этом, снимают после завершения измерения дальнего поля.

46.2.2. *Источник света*

Источник света должен обеспечивать стабильность интенсивности излучения и неизменность длины волны в процессе измерения. При необходимости для подсветки светоотражающей оболочки можно использовать второй источник света. Спектральные характеристики второго источника света не должны вызывать «размытость» изображения.

46.2.3. Условия возбуждения

Следует использовать такие условия возбуждения, которые соответствуют измеряемому параметру.

46.2.4. *Фильтр мод*

При измерении некоторых параметров необходимо обеспечить работу системы в одномодовом режиме. В этом случае для удаления моды LP_{11} волокно сгибают.

46.2.5. *Фильтр оболочечных мод*

Для измерения характеристик модового пятна следует использовать соответствующий фильтр оболочечных мод.

46.2.6. *Образец*

В качестве образца используют небольшой отрезок (от нескольких сантиметров до нескольких метров) волокна. С участка волокна, вводимого в фильтр оболочечных мод, удаляют первичное покрытие. Концы волокна должны быть чистыми, гладкими и перпендикулярными к оси волокна.

46.2.7. *Увеличительные оптические приборы*

Увеличительная оптика должна иметь оптическую систему (например, объектив), увеличивающую ближнее поле, фокусируя его на плоскость сканирующего детектора. Числовая апертура, а следовательно, и разрешающая способность оптики должны быть совместимы с требуемой точностью измерений и не должны быть ниже 0,3.

Степень увеличения должна быть совместима с пространственным разрешением.

46.2.8. *Детектор*

Используют детектор, регистрирующий интенсивность в каждой точке поля. Допускается использование следующих приборов:

а) сканирующий фотодетектор с точечной апертурой;

б) сканирующее зеркало с точечной апертурой и фотодетектором.

в) сканирующий видикон, устройства с зарядовой связью или другие устройства, позволяющие определять форму или интенсивность сигнала;

г) фиксированный детектор с переменной апертурой;

д) фиксированный детектор, в котором поле сканируется при вращении волокна.

Детектор должен иметь линейные характеристики в требуемом диапазоне интенсивности.

46.2.9. *Усилитель*

Для увеличения уровня сигнала используют усилитель. Ширину полосы усилителя выбирают в соответствии с используемым типом сканирования.

При сканировании дальнего конца волокна с помощью механической или оптической системы следует модулировать оптический источник. Для этого усилитель синхронизируют с частотой модуляции источника.

46.2.10. *Сбор данных*

Распределение интенсивности регистрируют, обрабатывают и отображают в удобной форме в соответствии с методом сканирования и требованиями документации.

46.2.11. *Подготовка к измерениям*

Для калибрования оборудования определяют степень увеличения увеличительного прибора (при его использовании) предварительным сканированием отрезка волокна с известными размерами. Степень увеличения определяют с достаточной точностью и регистрируют.

46.2.12. *Измерения*

Возбуждаемый конец волокна совмещают с пучком света; дальний конец волокна совмещают с оптической осью увеличительного прибора (при его использовании).

Для измерения ближнего поля сфокусированное изображение на дальнем конце волокна сканируется детектором в соответствии с требованиями документации. Фокусировку выполняют с максимальной точностью для уменьшения погрешностей, возникающих при сканировании «размытого» изображения.

Допускается использовать следующие методы:

а) ближнее поле сердцевины или оболочки увеличивают с помощью оптического прибора и фокусируют на плоскость детектора, затем определяют требуемые геометрические параметры;

б) измеряют поле сердцевины на дальнем конце волокна, после чего определяют геометрические параметры путем использования соответствующих математических преобразований в применении к ближнему полю.

46.2.13. *Результаты измерений*

В документации фиксируют следующие данные:

применяемое оборудование и используемый метод сканирования;

условия возбуждения;

длина волны и спектральная ширина полосы на полувысоте;

показатели и длина волокна;

тип фильтра оболочечных мод и фильтра мод (при его использовании);

степень увеличения;

тип и размеры сканирующего детектора;

температура образца и условия окружающей среды (при необходимости);

точность и повторяемость результатов;

полученные геометрические параметры: диаметр модового пятна и светоотражающей оболочки, некруглость, неконцентричность и т. д.

47. МЕТОД С10. ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ

Используют два метода контроля и измерения коэффициента передачи:

а) метод С10А. Контроль передаваемой мощности;

б) метод С10В. Контроль обратного рассеяния.

47.1. Метод С10А. Контроль передаваемой мощности

47.1.1. *Назначение*

Испытание проводят для контроля и измерения изменений оптической передачи в оптических волокнах и кабелях, происходящих при проведении механических или климатических испытаний.

47.1.2. *Подготовка образцов*

Испытываемый образец подготавливают в соответствии с методикой проведения механических, климатических и других испытаний. Минимальная длина волокна должна быть такой, чтобы изменения затухания регистрировались испытательным оборудованием (т. е. находились в пределах его чувствительности).

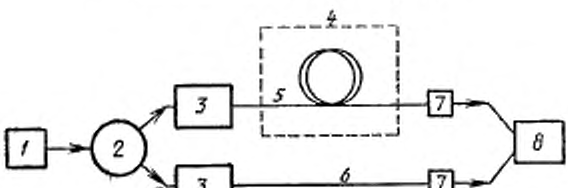
47.1.3. *Оборудование*

47.1.3.1. *Общие сведения*

Испытательная установка должна обеспечивать мониторинг передачи сигналов с высокой разрешающей способностью и хорошей стабильностью при изменении температуры и в течение времени, установленных в технических условиях на изделие.

На черт. 36а приведена типовая испытательная установка, используемая для проведения механических или климатических испытаний в лабораторных или заводских условиях. Испытание позволяет определить изменение оптической передачи путем сравнения с показателями, полученными на контрольном образце. Изменение оптической передачи корректируется для всех изменений, которые могут произойти в оптическом источнике. Места сращивания должны иметь стабильные характеристики.

Схема установки для проведения испытаний с использованием опорного образца



1 — оптический источник; *2* — оптический делитель; *3* — система возбуждения; *4* — среда, в которой проводятся испытания; *5* — испытываемый образец; *6* — опорный образец; *7* — детекторы; *8* — приемное и записывающее устройство

Черт. 36а

Схема установки для проведения испытаний с использованием стабилизированного источника



1 — стабилизированный оптический источник; *2* — записывающее устройство; *3* — система возбуждения; *4* — усилитель; *5* — среда, в которой проводятся испытания; *6* — испытываемый образец; *7* — детектор

Черт. 36б

На черт. 36б изображена типовая испытательная установка, используемая в полевых, лабораторных или заводских условиях, рассчитанная на проведение продолжительных испытаний и позволяющая стабилизировать оптический источник посредством об-

ратной связи. Если стабильность оптического источника соответствует требуемой точности измерений, можно использовать метод вносимых потерь С1В.

47.1.3.2. *Оптический источник*

Используют источник, например, лазер или светоизлучающий диод, работающий на длине волны, совместимой с длиной волны испытываемого оптического волокна. Оптический источник обычно модулируют; могут быть использованы оптические фильтры для селекции длины волны.

47.1.3.3. *Оптический делитель*

Оптический делитель имеет коэффициент деления, который в процессе испытания остается неизменным. Коэффициент деления и стабильность температуры должны соответствовать указанным в документации. Могут использоваться устройства промышленного выпуска или специально изготовленные.

47.1.3.4. *Оптический детектор*

Оптический детектор должен иметь достаточную площадь для поглощения всей излучаемой мощности выходного конуса и должен быть достаточно линейным в диапазоне используемых оптических мощностей.

Оптический детектор должен иметь достаточно равномерную чувствительность в активной зоне в диапазоне угла падения на длине волны измерений, чтобы обеспечить возможность изменения положения или угла выходного конуса относительно детектора. Равномерность чувствительности должна обеспечиваться в пределах, определяемых механической конструкцией испытательного оборудования с тем, чтобы не оказывать заметного влияния на результаты испытаний.

Если используют не один детектор, а несколько, как показано на черт. 36а, используют детекторы одного изготовителя и одной модели, и они должны иметь идентичную линейность.

47.1.4. *Условия возбуждения*

В зависимости от испытуемого параметра, в условиях, описанных в методах С1А и С1В (для многомодовых и одномодовых волокон), используют полное или ограниченное возбуждение. Фильтраторы оболочечных мод могут использоваться на концах испытываемого образца, со стороны источника и детектора, а также эталонного образца, если он используется.

47.1.5. *Опорный образец*

При использовании опорного образца он должен быть идентичным испытываемому образцу оптического волокна или кабеля и должен вводиться между оптическим делителем и детектором, как показано на черт. 36а. Волокно может быть небольшой дли-

ны. Опорный образец должен находиться в неизменном состоянии в процессе всего испытания.

47.1.6. *Проведение измерений*

47.1.6.1. *Измерение мощности*

До начала проведения испытания необходимо измерить исходную оптическую мощность P_{0t} испытываемого образца, а при измерении в соответствии с черт. 36а — исходную оптическую выходную мощность P_{0r} опорного образца.

При проведении испытаний в соответствии с методами механических, климатических и других испытаний, измеряют последующие оптические выходные мощности P_{nt} ($n=1, 2, 3 \ldots$) испытываемого образца, а при измерении в соответствии с черт. 36а — последующие мощности P_{nr} опорного образца.

При этом могут измеряться не сами абсолютные значения мощности, а значения, пропорциональные абсолютной мощности. При измерении в соответствии с черт. 36а коэффициент пропорциональности испытываемого и опорного образцов может быть различным. Коэффициенты пропорциональности остаются неизменными на протяжении всего испытания.

47.1.6.2. *Расчеты*

Изменение ΔD_n оптической передачи рассчитывается следующим образом (в децибелах):

для черт. 36а: $$\Delta D_n = 10\log_{10} \cdot \frac{P_{nt} \cdot P_{0r}}{P_{0t} \cdot P_{nr}},$$

для черт. 36б: $$\Delta D_n = 10\log_{10} \cdot \frac{P_n}{P_0}.$$

47.1.7. *Результаты*

Результаты могут быть выражены так же, как в методах С1А и С1В, включая следующие дополнительные результаты:

условия окружающей среды и применяемое измерительное оборудование;

изменения оптического коэффициента пропускания D_n, $n=1, 2, 3 \ldots$, обычно представленного в виде графика зависимости от испытательных параметров.

47.2. Метод С10В. Контроль обратного рассеяния

47.2.1. *Назначение*

Испытание используют для контроля и измерения изменений коэффициента оптического пропускания оптических волокон и кабеля, которые возникают при механических и климатических испытаниях.

Метод обеспечивает контроль изменения характеристик оптической неоднородности, физических дефектов и изменения крутизны характеристик затухания.

Метод можно использозать в том случае, если изменения коэффициента пропускания превышают погрешность воспроизводимости оборудования для определения обратного рассеяния.

47.2.2. *Подготовка образца*

Испытываемый образец подготавливают в соответствии с методикой проведения механических, климатических или других испытаний.

Минимальная длина волокна должна быть такой, чтобы нелинейности в начале и в конце волокна не оказывали существенного влияния на результаты.

47.2.3. *Устройство для проведения испытания*

Должно соответствозать применяемому в методе СІС «Метод обратного рассеяния».

47.2.4. *Проведение испытаний*

1) Испытываемое волокно устанавливают на одном уровне с устройством связи.

2) Мощность обратного рассеяния анализируется сигнальным процессором и регистрируется на логарифмической шкале.

3) На кривой выбирают две точки A и B, соответствующие началу и концу испытываемого волокна или кабеля.

4) При необходимости измерения выполняют с обоих концов.

Определяют следующее значение затухания D_{A-B}, дБ:

$$D_{A-B}=1/2(P_A-P_B),$$

где P_A и P_B — соответствующие уровни мощности, представленные на логарифмической шкале.

Вид кривых для сравнения записывают до, после и с интервалами в процессе проведения испытания.

47.2.5. *Результаты*

Для плавных кривых обратного рассеяния изменение затухания ΔD может быть определено через различные интервалы кривой потерь как разность:

$$\Delta D_{A-B}=D_{A-B}(t)-D_{A-B}(t+\Delta t),$$

где Δt — временной интервал.

В других случаях должна проводиться специальная обработка результатов.

Более подробно обработка результатоз рассмотрена в п. 34.6.

Максимальное значение для каждого типа неравномерности и максимальное отклонение согласовываются между изготовителем и потребителем.

V. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

48. НАЗНАЧЕНИЕ

В настоящем разделе приведены методы испытаний оптических волокон в заданных условиях окружающей среды. Методы используют для проверки оптических волокон, предназначенных для поставки.

Стойкость оптического волокна к воздействию параметров окружающей среды проверяют с помощью испытаний образцов, выбранных из табл. 6. Испытания или комбинация проводимых испытаний, соответствующие условия, число образцов и критерий годности, например, касающиеся определения механических и передаваемых характеристик, должны быть указаны в технических условиях.

Таблица 6

Номер метода испытания	Наименование метода испытания	Определяемые характеристики
Д1	Температурные циклы	Климатические характеристики
Д2	Химическая стойкость (в стадии рассмотрения)	Химическая стойкость
I (ГОСТ 28206)	Грибостойкость	Биологическая стойкость
Д3	Ядерное излучение	Стойкость к ядерному излучению

49. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В стадии рассмотрения.

50. МЕТОД Д1. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЦИКЛЫ

50.1. Назначение

Данный метод применяют для оптических волокон, которые испытывают при воздействии температурных циклов с целью определения стабильности затухания волокна при воздействии колебаний

температуры, имеющих место при хранении, транспортировании и эксплуатации.

Условия испытаний при измерении зависимости от температуры должны имитировать самые жесткие реальные условия.

50.2. Подготовка образца

В качестве образца может использоваться строительная длина или часть строительной длины, как указано в технических условиях, при этом длина должна быть достаточной для получения требуемой точности (см. примечание).

Примечание. Например, рекомендуется, чтобы минимальная длина волокна, на котором проводятся испытания, была не менее 1000 м для волокна категории А1 и 2000 м для волокна категории В.

Чтобы получить воспроизводимые результаты, образец волокна должен быть помещен в климатическую камеру в неплотно намотанной бухте или на катушке.

Результаты испытаний зависят от радиуса изгиба волокна. В связи с этим образец должен в максимальной степени соответствовать условиям нормальной эксплуатации. При испытании на катушке волокно должно быть намотано так, чтобы все изменения его характеристик (затухание, длина и т. д.), были аналогичны тем, которые имеют место при нормальной эксплуатации.

Возможные проблемы возникают вследствие различия коэффициентов линейного расширения испытываемого образца и несущего элемента (катушка, корзина, плита и т. д.), которые во время температурных циклов могут оказать значительное влияние на результат испытания, если не будут полностью выполнены условия «нулевого воздействия».

Параметрами, оказывающими влияние, являются главным образом: операции подготовки образца, тип и материал(ы) несущего элемента, диаметр намотки образца в бухте или на катушке и т. д.

Общие рекомендации:

Диаметр намотки должен быть достаточно большим, чтобы скомпенсировать различные процессы расширения и сжатия. Диаметр намотки должен быть существенно больше принятого для поставки волокна.

Должна быть устранена возможность ограничения (или сжатия) волокна при подготовке образца. В частности, следует принять специальные меры предосторожности по предотвращению возникания любого остаточного напряжения в волокне при испытании; например, не рекомендуется плотная намотка на катушке, так как это может ограничить сжатие волокна при низкой температуре. С другой стороны, многослойная плотная намотка может ограничить расширение при высокой температуре. Рекомен-

дуется слабая намотка, а именно: бухты большого диаметра, катушка с амортизирующей подушкой с мягким подслоем или приспособление для ослабления напряжений и т. д.

Испытание обычно разрушающее, так как трудно повторно правильно намотать образец волокна после испытания.

50.3. Аппаратура

а) Используют измерительный прибор, аналогичный тому, который применяется для определения изменения затухания (см. пп. 29—33).

б) Климатическая камера

Климатическая камера должна иметь размеры, достаточные для размещения образца, и должна обеспечивать поддержание температуры в пределах ±3 К от установленной температуры испытания.

Пример такой камеры приведен в ГОСТ 28209, испытание *Nb*.

50.4. Проведение испытания

а) Начальные измерения

Образец должен быть осмотрен визуально, и должно быть определено эталонное значение затухания при исходной температуре.

Необходимость предварительного кондиционирования образца определяется соглашением между потребителем и изготовителем.

б) Проведение испытания

1) Образец при температуре окружающей среды помещают в климатическую камеру, которая также имеет температуру окружающей среды. Условия предварительного кондиционирования должны быть оговорены между изготовителем и потребителем.

2) Затем температуру в камере снижают до установленной низкой температуры T_A с установленной скоростью охлаждения.

3) При достижении стабильности температуры в камере образец выдерживают при низкой температуре в течение установленного времени t_1.

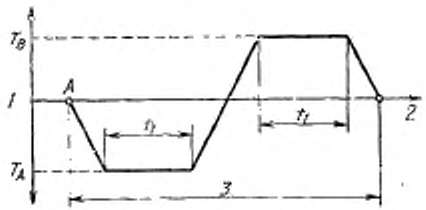
4) Затем температуру в камере повышают до установленной высокой температуры T_B с установленной скоростью нагрева.

5) При достижении стабильности температуры в камере образец выдерживают в условиях высокой температуры в течение установленного времени t_1.

6) Затем температуру в камере снижают до температуры окружающей среды с установленной скоростью охлаждения.

7) Эта процедура составляет один цикл (см. черт. 37).

8) Образец подвергают воздействию двух циклов, если иное не установлено в технических условиях.



1 — температура внутри камеры; *2* — время; *3* — 1 цикл

Черт. 37

9) В технических условиях должно быть указано:

а) изменение затухания и контроль во время выдержки образца;

б) период или периоды, после которых должен проводиться указанный контроль.

10) Перед извлечением из камеры испытываемый образец должен достигнуть термической стабильности при температуре окружающей среды.

11) Значения температуры T_A и T_B, а также времени t_1, устанавливают в технических условиях.

Скорость охлаждения (или нагрева) должна быть установлена в технических условиях. Следует принять меры, чтобы температура волокна не отличалась значительно от температуры, установленной для климатической камеры в конце фаз охлаждения (или нагрева).

в) Восстановление

1) Если температура окружающей среды после выемки из камеры не соответствует стандартным атмосферным условиям, установленным для испытания, образец должен быть выдержан для достижения температурной стабильности в этих условиях.

г) В технических условиях могут быть установлены специально требования к периоду восстановления для определенного типа образца.

50.5. Результаты

а) Конечные измерения

Образцы должны быть подвергнуты визуальному осмотру и проверке оптических и механических параметров в соответствии с требованиями технических условий.

б) Вместе с результатами должны быть представлены следующие данные:

детали условий намотки образца в бухту или на катушке;

Параметры намотки образца:

бухта, катушка, прочее (при применении барабана с амортизирующей подушкой — тип используемой подушки);

простая или многослойная намотка;

витки параллельны или с перехлестом;

натяжение намотки и приспособление для ослабления напряжений, если оно применялось;

тип и материалы несущего элемента;

положение образца (горизонтальное/вертикальное);

длина испытываемого волокна;

подготовка концов;

характеристики измерительного оборудования, включая тип измерительной аппаратуры и условия ввода;

условия испытания (число циклов, диаграмма температурных циклов);

температура и время, которые должны быть зафиксированы;

контролировалась влажность или нет. При контроле влажности должны быть зафиксированы значения влажности для каждого экстремального значения температуры;

изменение затухания на установленной длине волны в зависимости от температурных циклов с указанием точности измерения.

51. МЕТОД Д2. ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ

В стадии рассмотрения.

52. МЕТОД Д3. ЯДЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Метод испытания оптических волокон и оптических кабелей на стойкость к воздействию гамма-излучения.

52.1. Назначение

Этот метод испытания включает измерение постоянства отклика в оптических волокнах и оптических кабелях, подвергшихся воздействию гамма-излучения. Он может применяться для определения уровня затухания при воздействии радиации на одномодовых или многомодовых оптических волокнах, скрученных или нет, подвергшихся воздействию гамма-излучения. Это испытание не является испытанием материалов неоптических элементов оптического кабеля. Если требуется исследовать разрушение материалов под действием облучения, следует применять другие методы испытания.

52.1.1. *Исходные данные*

Затухание скрученных или нескрученных оптических волокон обычно увеличивается при воздействии гамма-излучения. Главным образом это обусловлено улавливанием в ловушках и дырках в дефектных местах структуры стекла (то есть образованием центров окраски). Этот метод испытания предусматривает два режима: режим небольшой дозы, соответствующий воздействию излучения окружающей среды, и режим высокой дозы, соответствующий воздействию ядерного взрыва. Испытание на воздействие излучения окружающей среды выполняют путем измерения затухания в соответствии с методом СIA. Воздействие ядерного взрыва оценивают путем контроля мощности до, во время и после воздействия гамма-излучения на испытываемый образец. Уменьшение числа центров окраски под действием света (фотообесцвечивание) или тепла приводит к восстановлению (уменьшению прироста затухания, вызванного излучением). Восстановление может осуществляться в широком временном диапазоне от 10^{-2} до 10^{4} с. Это осложняет определение затухания, обусловленного излучением, поскольку оно зависит от многочисленных переменных, таких как температура окружающей среды при испытании, форма образца, общая доза, мощность дозы, воздействующие на образец, и световой уровень, применяемый при измерении.

52.1.2. *Безопасность*

При проведении испытаний должны быть приняты строгие правила и соответствующие способы защиты в лаборатории. Следует привлекать квалифицированный, тщательно отобранный для проведения испытания персонал. Имеется весьма высокая степень опасности для испытательного персонала, если испытание будет неправильно выполняться или если не будут соблюдаться требуемые условия.

52.2. Испытательное оборудование (см. черт. 38а и 38б)

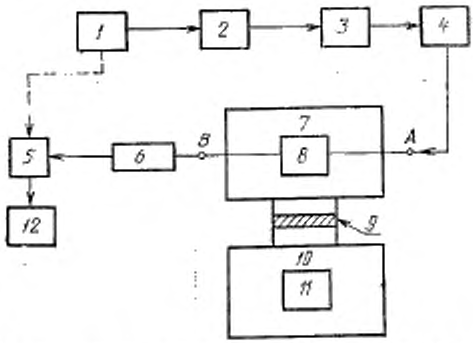
52.2.1. *Источник излучения*

52.2.1.1 Испытание на воздействие излучения окружающей среды

Для создания гамма-излучения с невысокой мощностью дозы менее приблизительно 20 рад/ч применяют кобальт 60 или эквивалентный ионизирующий источник (см. черт. 38а).

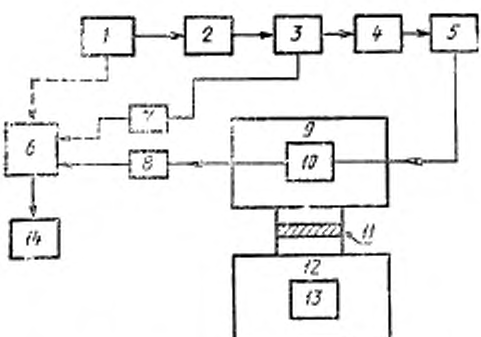
52.2.1.2 Испытание на воздействие излучения ядерного взрыва

Для создания гамма-излучения с требуемой мощностью дозы от 5 до 250 рад/с применяют кобальт 60 или эквивалентный(ные) ионизирующий(щие) источник(и) (см. черт 38б).



1 — модулированный источник света; *2* — оптические фильтры (монохроматор); *3* — имитатор ввода на входе; *4* — устройство выделения мод оболочки; *5* — синхронный детектор; *6* — оптический детектор; *7* — камера с регулируемой температурой; *8* — испытываемый образец; *9* — затвор; *10* — экранированная камера; *11* — источник гамма-излучения; *12* — регистрирующее устройство.

Черт. 38а



1 — модулированный источник света; *2* — оптические фильтры/монохроматор; *3* — оптический светоделитель; *4* — имитатор ввода на входе; *5* — устройство выделения мод оболочки; *6* — синхронный детектор; *7* — опорный детектор; *8* — оптический детектор; *9* — камера с регулируемой температурой; *10* — испытываемый образец; *11* — регистрирующее устройство; *12* — затвор; *13* — экранированная камера; *14* — источник гамма-излучения

Черт. 38б

52.2.2. *Источник света*

Источник света, такой как галогенная лампа накаливания, комплекс лазеров или светоизлучающих диодов используют для создания энергии излучения с длиной волны 850, 1300 и 1550 нм или с другими длинами волны, указанными в технических условиях. Источник света должен иметь устойчивую силу света в течение времени проведения измерения. Вводимая в испытываемый образец мощность источника должна быть менее или равна 30 дБм (1,0 мкВт) или соответствовать указанному в технических условиях. Источник света должен быть модулированным импульсным сигналом с рабочим циклом 50 %.

Примечание. Если использовать источник мощностью более 1,0 мкВт, то может произойти фотообесцвечивание.

52.2.3. *Оптические фильтры/монохроматоры*

Если нет других указаний, длины волн (850±20), (1300±20) и (1550±20) нм получают с помощью фильтрации источника света, используя комплекс оптических фильтров или монохроматор.

Ширина оптической полосы 3 дБ фильтров должна быть менее или равной 25 нм.

52.2.4. *Устройство выделения мод оболочки*

При необходимости используют устройство выделения мод оболочки на входном и выходном концах испытываемого образца. Если материалы покрытия волокна разработаны с учетом выделения мод оболочки, то нет необходимости в применении устройства выделения мод оболочки.

52.2.5. *Держатель волокна и монтажное устройство*

Следует предусмотреть устойчивый держатель входного конца испытываемого волокна, такой как вакуумный зажимной патрон. Этот держатель должен быть установлен на монтажном устройстве таким образом, чтобы конец образца мог вставляться во входной раструб неоднократно.

52.2.6. *Оптический светоделитель (см. черт. 38б)*

Оптический светоделитель отводит небольшую часть входного света к эталонному детектору. Эта эталонная ветвь используется для наблюдения за флуктуациями системы во время проведения испытания.

52.2.7. *Имитатор ввода на входе*

52.2.7.1. *Волокна категории А (градиентные многомодовые волокна)*

При измерении должен использоваться имитатор мод в равновесии для ослабления режима распространения мод высшего порядка и для установления распределения мод в равновесии у входного конца волокна. В методе С1А приведены указания по способу

установления соответствующих условий ввода для градиентных многомодовых волокон категории А.

52.2.7.2. *Волокна категории В (одномодовые волокна)*

Можно использовать оптическую линзовую систему или инициирующее волокно для возбуждения испытываемого волокна. Вводимая в испытываемый образец мощность должна быть стабильной на протяжении всего испытания. Если используется оптическая линзовая система, можно применить монтажное устройство для волокна менее чувствительного в пространстве и по углу, осуществляя полный ввод в конец волокна. При использовании инициирующего волокна может быть необходимым применение материала для согласования показателей преломления, чтобы исключить явление взаимовлияния. Фильтр мод высшего порядка используют для устранения мод высшего порядка, распространяющихся в диапазоне длин волн более или равных длине волны отсечки испытываемого волокна. Этому требованию удовлетворяют условия испытания, установленные в методе С7А.

52.2.7.3. *Волокна категории А2.1 и А2.2 (волокна с полуступенчатым и ступенчатым показателями преломления*

Условия ввода должны соответствовать установленным в технических условиях.

52.2.8. *Детектор. Система детектирования сигнала*

Используют оптический детектор, который имеет линейные и устойчивые характеристики в диапазоне используемой мощности излучения. Типовая система может включать фотодиод с фотовольтным режимом, с усилением с помощью входного предусилителя тока, с синхронным детектированием в оконечном усилителе.

52.2.9. *Оптический измеритель мощности*

Используют оптический измеритель мощности для определения мощности оптического источника, вводимой в испытываемый образец, которая менее или равна 1,0 мкВт или соответствует требованиям, указанным в технических условиях.

52.2.10. *Дозиметр излучения*

Для измерения общей дозы излучения, полученной образцом волокна, используют термолюминесцентные детекторы на кристаллах *LiF* или *CaF* (*DTL*).

52.2.11. *Камера с регулируемой температурой*

Если не указано иное, в камере с регулируемой температурой должна поддерживаться установленная техническими условиями температура с отклонением ±2 °С.

52.2.12. *Катушка для испытаний*

Катушка для испытаний не должна действовать как экран или как поглотитель излучений, используемых при испытании.

52.3. Образцы для испытаний

52.3.1. *Образцы волокна и кабеля*

52.3.1.1. *Образец волокна*

Испытываемый образец должен быть представительным для волокна, указанного в технических условиях.

52.3.1.2. *Образец кабеля*

Испытываемый образец должен быть представительным для кабеля, описанного в технических условиях, и содержать, по крайней мере, одно из требуемых волокон.

52.3.2. *Образец для испытания на воздействие излучения окружающей среды*

Если иное не установлено в технических условиях, то длина испытываемого образца должна быть (3000±30) м. (Если условия реактора требуют меньшей длины, длина испытываемого образца может быть (1100±20) м). Минимальная длина концов испытываемого образца (обычно менее или равная 5 м) должна быть выведена наружу испытательной камеры и использоваться для соединения оптического источника с детектором. Облученная длина испытываемого образца должна быть зафиксирована.

52.3.3. *Образец для испытания на воздействие излучения ядерного взрыва*

Если иное не установлено в технических условиях, длина испытываемого образца должна быть (250±2,5) м. (Если условия испытания требуют высоких общей дозы и мощности дозы, как указано в табл. 7, то может использоваться меньшая длина испытываемого образца). Минимальная длина концов испытываемого образца (обычно менее или равная 5 м) должна быть выведена наружу испытательной камеры и использоваться для соединения оптического источника с детектором. Облученная длина испытываемого образца должна быть зафиксирована.

52.3.4. *Катушка для испытания*

Испытываемый образец наматывают на катушку с диаметром шейки, установленным в технических условиях. Следует предусмотреть возможность размотки длины испытываемого образца, на которой проводятся измерения, с каждого конца катушки, для закрепления его в измерительной оптической аппаратуре. Можно применять неплотную намотку волокна в бухту определенного диаметра.

52.3.5. *Защита от внешнего света*

Испытываемый образец должен быть защищен от внешнего света, чтобы предотвратить внешнее фотозасвечивание.

52.4. Проведение испытания

52.4.1. *Калибровка источника излучения*

Калибровку источника излучения с целью обеспечения равномерности доз и уровня производят до помещения образца в испытательную камеру. Четыре термолюминесцентных дозиметра (*DTL*) размещают в зоне облучения, а центр *DTL* размещается в месте, где будет располагаться ось испытательной катушки. (Четыре *DTL* используют для получения среднего значения). Для калибровки системы следует применять дозу более или равную реальной испытательной дозе. Для обеспечения максимальной точности измерения все *DTL* не должны использоваться более одного раза.

52.4.2. *Подготовка конца волокна*

Испытываемый образец должен быть подготовлен так, чтобы его торцы были гладкими и были перпендикулярны к оси волокна.

52.4.3. *Испытание на воздействие излучения окружающей среды*

Порядок измерения затухания испытываемого образца до и после облучения источником гамма-излучения приведен ниже.

52.4.3.1. Катушку с испытываемым волокном или кабелем помещают в установку в соответствии с черт. 38 а, б.

52.4.3.2. Входной конец волокна помещают в держатель и центрируют. Выходной конец размещают так, чтобы весь свет, выходящий из волокна, попадал на активную поверхность детектора.

52.4.3.3. Испытываемый образец предварительно выдерживают в термостате при температуре (25±5) °С в течение 1 ч до испытания или при температуре предварительной выдержки в соответствии с указанным в технических условиях.

52.4.3.4. Затухание испытываемого образца измеряют на указанных испытательных длинах волн в соответствии с методом С1А. Затухание волокна категории А1 до облучения источником гамма-излучения должно быть зафиксировано.

52.4.3.5. Мощность на входном конце испытываемого образца (точка *A* на черт. 38) измеряют с помощью калиброванного счетчика. Уровень источника должен быть при необходимости отрегулирован так, чтобы мощность в точке *A* была менее 1,0 мкВт или в соответствии с указанной в технических условиях.

52.4.3.6. Концы образца должны быть подготовлены в соответствии с п. 52.4.2 и ориентированы в испытательном устройстве в соответствии с п. 52.4.3.2.

52.4.3.7. Источник излучения отключают, входной конец испытываемого образца устанавливают так, чтобы получить максимальную оптическую мощность на детекторе. После регулирова-

ния условия ввода на входе не должны изменяться во время процесса гамма-облучения.

52.4.3.8. До облучения выходную мощность измеряют при установленной температуре испытания для всех длин волн, на которых проводится испытание.

52.4.3.9. Графический регистратор или соответствующее устройство для постоянного измерения соединяют с системой детектирования для постоянного измерения мощности. Измерительное оборудование должно быть таким, чтобы детектированный сигнал не превышал допустимого уровня для данного оборудования.

52.4.3.10. Результаты воздействия излучения окружающей среды при облучении гамма-излучением определяют при воздействии на испытываемый образец мощности дозы менее или равной 20 рад/ч. Испытываемый образец подвергают воздействию общей дозы не менее 100 рад.

52.4.3.11. Выходная мощность испытываемого образца должна фиксироваться во время проведения цикла гамма-излучения.

52.4.3.12. После окончания процесса облучения и не более чем через 2 ч измеряют затухания испытываемого образца в соответствии с п. 52.4.3.4. Затухание A_2 испытываемого образца после облучения источником гамма-излучения фиксируют.

52.4.3.13. Этапы испытаний с п. 52.4.3.1 до п. 52.4.3.12 повторяют при установленных для испытания температурах и длинах волн. Для каждой требуемой температуры используют новый необлученный образец.

52.4.4. *Испытание на воздействие излучения ядерного взрыва*

Ниже приведен порядок измерения мощности, распространяющейся в испытываемом образце до, во время и после облучения источником гамма-излучения.

52.4.4.1. Концы испытываемого образца небольшой длины (1—2 м) подготавливают в соответствии с п. 52.4.2.

52.4.4.2. Входной конец небольшой испытываемой длины помещают в держатель и ориентируют в испытательной установке (черт. 38а, б) для получения максимальной оптической мощности, измеряемой с калиброванным счетчиком. Уровень источника при необходимости регулируют с помощью нейтральных фильтров плотности, чтобы получить на выходе короткой длины испытываемого образца оптический уровень мощности менее 1,0 мкВт или в соответствии со значением, указанным в технических условиях.

Примечание. Если используется источник с мощностью более 1,0 мкВт, то может произойти фотообесцвечивание.

52.4.4.3. Испытываемую катушку помещают в испытательную установку в соответствии с черт. 38 а, б.

52.4.4.4. Входной конец испытываемого образца помещают в держатель и выравнивают. Выходной конец располагают так, чтобы весь свет, выходящий из испытываемого образца, попадал на активную поверхность детектора.

52.4.4.5. Испытываемый образец предварительно выдерживают в термостате при температуре (25±5) °С в течение 1 ч до испытания или при температуре предварительной выдержки в соответствии с указанным в технических условиях.

52.4.4.6. При отключенном источнике излучения входной конец испытываемого образца помещают так, чтобы получить максимальную оптическую мощность на детекторе. После регулирования условия ввода на входе не должны изменяться во время процесса гамма-облучения.

52.4.4.7. До облучения входную мощность измеряют при установленной температуре испытания для всех длин волн, на которых проводится испытание. В это же время измеряют также мощность эталонного детектора.

52.4.4.8. Графический регистратор или соответствующее устройство для постоянного измерения соединяют с системой детектирования для постоянного измерения мощности.

Измерительное оборудование должно быть таким, чтобы детектированный сигнал не превышал допустимого уровня для данного оборудования.

52.4.4.9. Результаты воздействия облучения гамма-излучением определяют при воздействии на испытываемый образец, по крайней мере, одного из сочетаний мощности дозы и общей дозы, указанных в табл. 7, или в соответствии с указанным в технических условиях.

Таблица 7

Сочетания общая доза/мощность дозы

Общая доза [illegible]	Мощность дозы [illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

Значения мощности дозы являются приблизительными, поскольку характеристики источников излучения меняются. Допускается изменение мощности дозы на ±50 % для различных источ-

ников. Время, необходимое для ввода в действие или отключения источника излучения, должно быть менее или равным 10 % общего времени облучения.

52.4.4.10. Выходная мощность испытываемого образца должна быть зафиксирована во время цикла гамма-облучения. Мощность должна быть также зафиксирована в течение не более 15 мин после окончания процесса облучения или в течение другого времени, указанного в технических условиях. Уровень мощности эталонного детектора должен быть также зафиксирован в течение восстановительного периода после окончания процесса облучения.

52.4.4.11. Этапы испытаний с п. 52.4.4.2 до п. 52.4.4.10 повторяют при установленных для испытания температурах и длинах волн. Для каждой требуемой температуры используют новый необлученный образец.

52.5. Расчеты

52.5.1. Прирост оптического затухания ΔA (испытание на воздействие излучения окружающей среды) вычисляют по формуле

$$\Delta A = A_2 - A_1 \text{ (дБ)},$$

где A_1 — затухание испытываемого образца до облучения гамма-излучением;

A_2 — затухание испытываемого образца после облучения гамма-излучением.

52.5.2. Прирост коэффициента оптической передачи A вычисляют для каждой длины волны по следующим формулам (испытание на воздействие излучения ядерного взрыва):

$$A_0 = -10\lg(P_0/P_в) \text{ (дБ)},$$

$$A_{15} = -10\lg(P_{15}/P_в) \text{ (дБ)},$$

где P_0 — выходная мощность испытываемого образца в течение 1 с после прекращения облучения, если не указано иное;

P_{15} — выходная мощность испытываемого образца через 15 мин после прекращения облучения, если не указано иное;

$P_в$ — выходная мощность испытываемого образца до начала облучения;

A_0 — прирост коэффициента оптической передачи испытываемого образца сразу после облучения;

A_{15} — прирост коэффициента оптической передачи испытываемого образца через 15 мин после облучения.

52.5.3. Если установлена значительная нестабильность системы, следует использовать результаты эталонных измерений для нормализации результатов испытания:

$$A_{REF} = -10\log(P_{E'}/P_{в'}), \text{ (дБ)}$$

где $P_{E'}$ — мощность, измеренная эталонным детектором в конце измерения;

$P_{B'}$ — мощность, измеренная эталонным детектором до начала облучения.

52.5.4. Результаты испытания, нормализованные с учетом нестабильности системы, вычисляют по формулам:

$$A_{0_{NOR}} = A_0 - A_{REF};$$

$$A_{15_{NOR}} = A_{15} - A_{REF}.$$

52.6. Документация

52.6.1. В документации должны быть зафиксированы следующие данные:

дата испытания;

наименование испытания;

длина испытываемого образца, подвергшаяся воздействию излучения;

длина волны испытания;

температура испытания;

диаметр испытываемой катушки;

доза при испытании и мощность дозы;

прирост затухания ΔA (испытание на воздействие излучения окружающей среды);

прирост коэффициентов оптической передачи A_0 и A_{15} (испытание на воздействие излучения ядерного взрыва);

характеристики испытываемого образца, такие как тип волокна, тип кабеля, размеры и конструкция;

графическая запись этапов испытания.

52.6.2. Должна также иметься информация об испытательном оборудовании, направляемая по запросу для инспекции в невоенных областях применения:

описание источника излучения;

описание используемых дозиметров;

тип оптического источника, номер модели и изготовитель;

описание оптических фильтров или монохроматора;

описание устройства выделения мод оболочки;

описание имитатора ввода на входе и условий ввода;

тип используемого оптического светоделителя;

описание аппаратуры детектирования и регистрации;

описание характеристик термостата;

дата последней поверки испытательного оборудования;

фамилия или номер оператора.

52.7. Краткий перечень параметров

В технических условиях должно быть указано:

тип испытываемого образца;
диаметр испытательной катушки;
температура (ы) испытания;
критерии отказа или положительных результатов испытания;
число образцов;
длины волн при испытании;
общая доза и мощность дозы;
прочие условия испытания.

VI. УПАКОВКА

53. НАЗНАЧЕНИЕ

Для погрузочно-разгрузочных операций и транспортирования оптического волокна упаковка должна отвечать следующим требованиям.

53.1. Технология намотки должна обеспечивать способность оптического волокна выдерживать условия транспортирования и воздействия окружающей среды.

53.2. Должна быть обеспечена возможность определения размеров, характеристик передачи и оптических характеристик оптического волокна непосредственно на таре.

53.3. Стандартные размеры катушки (для рассмотрения в будущем).

VII. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, КОНТРОЛЬНЫЕ И КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

(Для рассмотрения в будущем).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВОЛОКОН ДЛЯ КОРОТКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

А1. Общие сведения

А1.1. Область распространения

В приложении приведены дополнительные рекомендации по оптическим волокнам, используемым в коротких линиях связи. Это позволяет установить единые требования к геометрическим оптическим свойствам и механическим свойствам и механическим свойствам волокон, а также их поведению при воздействии окружающей среды.

А1.2. Определение

Однозначно определить термин «короткий» в «коротких» линиях связи весьма трудно; волокна категорий А2, А3 и А4 по табл. 8 настоящего стандарта имеют следующие зоны применения:

линии связи в системах обработки данных;

местные сети связи;

датчики.

В соответствии с этими областями применения можно сделать вывод, что типичные расстояния составляют до 2 км для волокон категории А2, до 1 км для волокон категории А3 и до 100 м для волокон категории А4.

Примечания:

1. В табл. 8 указаны типичные расстояния, однако бюджет энергии и параметры связи, такие как диаметр сердцевины и числовая апертура волокна могут иметь большее значение, чем затухание и ширина полосы пропускания.

2. Считается, что волокна категорий А7 и В также могут использоваться на коротких расстояниях

3. Следует отметить, что волокна категорий А2 и А3 обычно используется в системах с длиной волны 850 нм, а волокна категории А4 — при длине волны 650 нм.

А1.3. Свойства оптического волокна

Конструкция, размеры, механические и оптические свойства, свойства передачи, свойства материалов и параметры окружающей среды для каждого типа оптического волокна должны соответствовать указанным в технических условиях.

А2 Методы измерения размеров

Методы измерения размеров приведены в табл. 3 настоящего стандарта и большинство их может применяться для волокон категорий А2, А3 и А4 коротких линий связи.

А3. Методы измерений механических характеристик

Методы измерения механических характеристик приведены в табл. 4 настоящего стандарта и могут применяться для волокон категорий А2, А3 и А4 коротких линий связи.

Примечания:

1. Вследствие особых характеристик пластических материалов контрольное испытание под натяжением может не потребоваться для волокон категории А4, но может потребоваться испытание, подтверждающее целостность оболочки.

2. Методика обратного рассеяния высокого разрешения, описанная в методе С1С, может быть применена для волокон категорий А2, А3, А4.

А4. Методы измерения характеристик передачи и оптических характеристик

Указанные методы приведены в табл. 5 настоящего стандарта и могут применяться для волокон категорий А2, А3 и А4 в коротких линиях связи.

Однако необходимо отметить следующее:

А4.1. Затухание

Метод отсечки с условиями возбуждения, описанный в примечании ниже, дает более точные результаты для волокон, применяемых в коротких линиях связи.

Однако в случае измерения на короткой длине волокна или кабеля нельзя пренебрегать погрешностью измерения, так как затухание на короткой длине волокна или кабеля становится близким к погрешности измерения.

Метод вносимых потерь может не использоваться, если не нужна точность измерений.

Метод обратного рассеяния высокого разрешения (метод С1С) может быть применен для волокон категорий А2, А3, А4.

Примечание. Условия возбуждения неравновесной моды.

В этом случае невозможно получить значения коэффициента затухания, поскольку распределение мощности не является независимым от длины.

Если измерение затухания проводят в особых условиях, они должны быть установлены и зафиксированы, например:

а) длина волны источника;

б) спектральная ширина;

в) диаграмма излучения;

г) длина испытываемого волокна;

д) связь источника с испытываемым волокном;

е) могут потребоваться особые условия возбуждения для проведения измерений, кроме измерений затухания, например, условия полного возбуждения по п. 38.1а) настоящего стандарта.

Рекомендуется использовать:

числовую апертуру возбуждающего пучка, равную или несколько превышающую максимальную теоретическую числовую апертуру испытываемого волокна;

световое пятно возбуждающего пучка, равное или несколько превышающее диаметр сердцевины испытываемого волокна.

Установка для возбуждения волокон коротких линий связи в стадии рассмотрения.

А4.2. Характеристика полосы пропускания

Если учитывается ширина полосы пропускания, на коротких длинах волокон А4 выполняют измерения импульсным методом.

Аналогичные измерения для волокон категорий А2 и А3 в стадии рассмотрения.

А4.3. Оптическая целостность

Для обоих методов, приведенных в табл. 5, рекомендуется использовать для волокон короткой длины метод передаваемой или излучаемой мощности (метод С4).

А4.4. Числовая апертура

Рекомендуется использовать метод распределения света в дальнем поле (метод С6) с измененными условиями возбуждения, приведенными для измерения затухания.

А5. Методы измерения характеристик при воздействии внешних факторов

Методы приведены в табл. 6 настоящего стандарта и применяются для волокон категорий А2, А3 и А4 в коротких линиях связи.

Примечание. При конструировании соединителей может возникнуть необходимость в дополнительном испытании на вытягивание для волокон категорий А1, А2 и А3. Испытание в стадии рассмотрения.

Таблица 8

Примеры размеров, параметров передачи и сфер применения волокон в коротких линиях связи

Категория волокна	Диаметр* оболочки	Коэффициент затухания	Теоретическая числовая апертура	Длина волны	Ширина полосы пропускания		Примечание	Типичные расстояния
					Ширина полосы пропускания (МГц)	Относительно длины		
A2 (волокно со ступенчатым показателем преломления)	В стадии рассмотрения	От 4 дБ/км до 25 дБ/км	От 0,2 до 0,6	850 нм	От 5 до 20**	1 км	Линии связи систем обработки данных (военных, (авиационных, промышленных и коммерческих); местные сети связи; датчики	До 2 км
A3 (стеклянная сердцевина пластмассовая оболочка)	В стадии рассмотрения	⩽10 дБ/км	0,4	850 нм	От 5 до 10**	1 км		До 1 км
A4 (пластмассовое волокно)	В стадии рассмотрения	⩽40 дБ/100 м	От 0,4 до 0,6	От 650 нм до 660 нм	От 10 до 150**	100 м		До 100 м

* Для руководства предлагается перечень размеров: A2: 50/125, 85/125, 100/140, 200/250, 200/280 мкм; A3: 200/225, 200/300, 200/380 мкм; A4: 1000 мкм.

** Данный параметр нелинеен относительно длины.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. **ПОДГОТОВЛЕН И ВНЕСЕН** Техническим комитетом (ТК 46) «Кабельные изделия»

2. **УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Госстандарта России от 10.11.93 № 236
Настоящий стандарт содержит полный аутентичный текст международного стандарта МЭК 793—1—89 «Оптические волокна. Часть 1. Общие технические требования»

3. **ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

4. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Обозначение соответствующего международного стандарта	Номер пункта, подпункта
ГОСТ 28198—89	МЭК 68—1—88	22.2
ГОСТ 28206—89	МЭК 68—2—10—88	48
ГОСТ 28209—89	МЭК 68—2—14—84	50.3

Редактор *Т. С. Шеко*
Технический редактор *Н. С. Гришанова*
Корректор *Е. Ю. Гебрук*

Сдано в наб. 07.12.93. Подп. в печ. 26.01.94. Усл. п. л. 6,28. Усл. кр.-отт. 6,41. Уч.-изд. л. 6,65. Тираж 362 экз. С 1002

Издательство стандартов, 107076. Москва, Колодезный пер., 14.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2787

gost.e-ecolog.ru