ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-42— 2013

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-42

Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия

IEC 60793-1-42:2007

Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 сентября 2013 г. № 909-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-42:2007 «Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия» (IEC 60793-1-42:2007 «Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion»).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2014

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

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ
Часть 1-42

Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия

Optical fibres. Part 1-42. Measurement methods and test procedures. Chromatic dispersion

Дата введения — 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает единые требования к измерению хроматической дисперсии оптического волокна (далее – волокно), таким образом содействуя проверке пригодности к использованию в коммерческих целях волокон и кабелей.

Хроматическая дисперсия изменяется в зависимости от длины волны. Некоторые методы и схемы реализации позволяют измерять групповую задержку как функцию от длины волны и значения хроматической дисперсии и крутизны дисперсии получать из производных (относительно длины волны) этих данных. Это дифференцирование чаще всего проводят после подгонки данных к математической модели. Другие схемы реализации могут позволить проводить прямые измерения (хроматической дисперсии) для каждой из требуемых длин волн.

Для некоторых категорий волокна признаки хроматической дисперсии устанавливают с помощью характеристик конкретной модели. В этих случаях соответствующая рекомендация или стандарт устанавливает модель, подходящую для определения указанных характеристик. Для других категорий волокна дисперсия ограничена указанным диапазоном для одного или нескольких указанных интервалов длин волн. В последнем случае могут быть проведены прямые измерения при крайних значениях диапазона длин волн или измерения с помощью некоторой приближенной математической модели, позволяющей применить методы или схемы реализации измерения групповой задержки или хранение сокращенного набора коэффициентов, необходимых для расчета значений интерполированной дисперсии для указанных длин волн, которые могут не совпадать с действительными значениями, полученными при прямых измерениях.

В приложении Е представлено общее описание подгонки хроматической дисперсии к математической модели и приведено несколько уравнений математической модели, подходящих для использования при любом методе измерения или категории волокна.

В настоящем стандарте приведены четыре метода измерения хроматической дисперсии:

- метод А: фазовый сдвиг;
- метод В: спектральная групповая задержка во временной области;
- метод С: дифференциальный фазовый сдвиг;
- метод D: интерферометрия.

Методы А, В и С применяют для измерения хроматической дисперсии следующих волокон в указанном диапазоне длин волн:

- ступенчатого многомодового волокна категории А1;
- многомодовых волокон типов A4f, A4g и A4h;
- одномодовых волокон класса В (всех категорий).

Метод D применяют для измерения значений хроматической дисперсии одномодовых волокон категорий В1, В2, В4 и В5 в диапазоне длин волн от 1000 до 1700 нм.

Данные методы могут быть применены для измерения хроматической дисперсии в лабораторных, заводских и полевых условиях, и при проведении измерений может быть выбран требуемый диапазон длин волн. Измерения проводят при температуре, как указано в МЭК 60793-1, таблица 1 – Стандартный диапазон атмосферных условий [температура (23 ± 5)°С].

Данные методы применяют для отрезков волокна или кабеля длиной более 1 км. Их также допускается применять для отрезков меньшей длины, но при этом могут ухудшаться точность и стабильность результатов измерений. Метод D предпочтителен для более коротких отрезков волокна (от 1 до 10 м).

Издание официальное

Общая информация для всех методов содержится в разделах 1–8, а информация, касающаяся каждого метода в отдельности, – в приложениях A, B, C и D соответственно.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

МЭК 60793-2[1)] Волокна оптические. Часть 2. Технические условия на изделие. Общие положения (IEC 60793-2, Optical fibres – Part 2: Product specifications – General)

МЭК 60793-1-1:2002[2)] Волокна оптические. Часть 1-1. Методы измерений и порядок проведения испытаний. Общие положения и руководство (IEC 60793-1-1:2002, Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance)

МЭК 60793-1-41[1)] Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и порядок проведения испытаний. Ширина полосы пропускания (IEC 60793-1-41, Optical fibres – Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth)

3 Обзор методов

3.1 Метод A. Фазовый сдвиг

Данный метод описывает методику для определения хроматической дисперсии всех категорий одномодовых волокон класса B, градиентных многомодовых волокон категории A1 и волокон типов A4f, A4g и A4h в указанном диапазоне длин волн с использованием относительных фазовых сдвигов между синусоидально модулированными сигналами оптических источников на разных длинах волн. Как правило, источниками служат лазерные диоды, диоды, излучающие отфильтрованный свет, или источники самопроизвольного усиленного отфильтрованного излучения (ASE). Относительные значения фазового сдвига преобразуют в относительные значения временной задержки, и затем по результирующим значениям спектральной групповой задержки подбирают уравнение для каждого типа волокна.

3.2 Метод B. Спектральная групповая задержка во временной области

Данный метод описывает методику для определения хроматической дисперсии всех категорий одномодовых волокон класса B, градиентных многомодовых волокон категории A1 и волокон типов A4f, A4g и A4h с использованием в качестве источника света Nd:YAG/волоконного рамановского лазера или многолучевых лазерных диодов, работающих при значениях длин волн как больших, так и меньших типового значения длины волны при нулевой дисперсии.

При использовании данного метода измеряют разность времен задержки оптического импульса на протяжении отрезка волокна известной длины для нескольких значений длин волн. Также проводят стандартную серию испытаний на протяжении короткого отрезка эталонного волокна, и полученные значения вычитают из значений, полученных для испытуемого волокна, с целью получить относительные значения спектральной групповой задержки.

По результирующим значениям спектральной групповой задержки подбирают уравнение для каждого типа волокна.

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

[2)] Заменен на МЭК 60793-1-1:2008. Для однозначного соблюдения требований настоящего стандарта, выраженных в датированных ссылках, рекомендуется использовать только данный ссылочный стандарт.

3.3 Метод C. Дифференциальный фазовый сдвиг

Данный метод описывает методику для определения хроматической дисперсии всех категорий одномодовых волокон класса B, градиентных многомодовых волокон категории A1 и волокон типов A4f, A4g и A4h. Коэффициент дисперсии для указанного значения длины волны определяют из дифференциальной групповой задержки между двумя близко расположенными значениями длины волны.

При использовании данной методики источник модулированного светового сигнала соединяют с испытуемым волокном и фазу светового сигнала, возбуждаемого в волокне при первом значении длины волны, сравнивают с фазой светового сигнала, возбуждаемого в волокне при втором значении длины волны. Среднее значение хроматической дисперсии на интервале между двумя значениями длины волны определяют из дифференциального фазового сдвига, интервала между значениями длины волны и длины волокна.

Коэффициент хроматической дисперсии при длине волны, имеющей среднее значение по отношению к двум значениям длины волны, при которых проводят испытание, полагают равным среднему значению хроматической дисперсии на интервале между этими двумя значениями длины волны. По результирующим значениям хроматической дисперсии подбирают уравнение для каждого типа волокна.

3.4 Метод D. Интерферометрия

Данный метод описывает методику для определения хроматической дисперсии одномодовых волокон категорий B1, B2, B4 и B5 в диапазоне длин волн от 1000 до 1700 нм. При использовании данного метода испытаний может быть измерена хроматическая дисперсия короткого отрезка волокна.

Данным методом измеряют временную задержку, зависящую от длины волны, между испытуемым образцом и эталонной траекторией с использованием интерферометра Маха-Цендера. Эталонная траектория может представлять собой воздушную траекторию или одномодовое волокно с известным значением спектральной групповой задержки.

Следует учесть, что экстраполяция значений хроматической дисперсии, полученных из интерферометрического испытания на волокнах от отрезков в несколько метров до длинных секций волокна, предполагает продольную однородность волокна. Это допущение действительно не во всех случаях.

4 Эталонные методы испытаний

4.1 Многомодовые волокна категории A1 и типов A4f, A4g и A4h

Для многомодовых волокон категории A1 и типов A4f, A4g и A4h метод B (спектральная групповая задержка во временной области) принят в качестве эталонного метода испытаний (RTM), который используют при разрешении спорных ситуаций.

4.2 Одномодовые волокна класса B

Для всех категорий одномодовых волокон класса B метод A (фазовый сдвиг) принят в качестве эталонного метода испытаний (RTM).

5 Оборудование

Следующее оборудование используют при измерениях всеми методами. В приложениях A, B, C и D содержатся схемы размещения оборудования и другие требования к оборудованию, которые относятся к методам A, B, C и D соответственно.

5.1 Оптика возбуждения

Выход с источников сигнала соединяют с испытуемым волокном или эталонным волокном таким образом, чтобы физическая длина траектории для каждого источника была постоянной во время измерения (соблюдение данного требования позволяет избежать изменения относительных фаз источников вследствие изменения длины траекторий). Соответствующие устройства могут включать в себя многоканальные одномодовые оптические переключатели или съемные оптические соединители.

При проведении измерений на многомодовых волокнах категории A1, типов A4f, A4g и A4h условия возбуждения должны соответствовать аналогичным условиям метода A (измерение импульсной характеристики) МЭК 60793-1-41.

5.2 Модовый фильтр высокого порядка (одномодовое волокно)

При проведении измерений на одномодовом волокне применяют метод, позволяющий удалять распространяющиеся моды высокого порядка в соответствующем диапазоне длин волн. Примером такого модового фильтра высокого порядка служит одиночная петля достаточно малого радиуса, позволяющего сдвинуть критическое значение длины волны ниже минимального значения длины волны в соответствующем диапазоне.

5.3 Оборудование позиционирования входного конца волокна

Входной конец образца соединяют с источником света. Примерами используемых для этого средств могут служить устройства трехмерного точного позиционирования или средства механического соединения, например соединители, вакуумные муфты, трехстержневые муфты и т.д. Положение волокна во время испытания должно оставаться стабильным.

5.4 Оборудование позиционирования выходного конца волокна

Для обеспечения позиционирования выходного конца образца используют средства, обеспечивающие передачу направленной оптической мощности в детектор системы. Такая передача мощности может быть достигнута с использованием линз или механическим соединением с пигтейлом детектора.

5.5 Оборудование для проведения расчетов

Для целей управления оборудованием, получения данных и числовой оценки данных может быть использован цифровой компьютер.

6 Отбор и подготовка образцов

6.1 Длина образца

При применении методов A, B и C образец должен представлять собой волокно или кабель известной длины и достаточно длинный для достижения адекватной точности измерения фазы. Типовая минимальная длина образца – 1 км. Вследствие того, что волокна типов A4f, A4g и A4h имеют большие потери, чем волокна категории A1, для данных волокон (A4f, A4g, A4h) допускается минимальная длина образца 100 м.

Примечание — Использование более коротких отрезков при измерениях влияет на стабильность результатов измерений. При использовании более длинных отрезков, как правило, достигают лучшей стабильности результатов измерений.

При применении метода D (интерферометрия) длина типового образца должна находиться в диапазоне от 1 до 10 м.

6.2 Торцевая поверхность образца

На входном и выходном концах каждого образца подготавливают плоскую торцевую поверхность, перпендикулярную к оси волокна.

6.3 Эталонное волокно

Одномодовое волокно с известными характеристиками дисперсии должно быть использовано для компенсации хроматических задержек в оптических источниках и других компонентах оборудования. Длина данного волокна должна быть не более 0,2 % длины образца.

Для волокон типов A4f, A4g и A4h длина эталонного волокна должна быть не более 2 м. Если эта длина превышает 0,2 % длины испытуемого образца, то хроматическую дисперсию эталонных волокон учитывают. Для этого значения хроматической дисперсии данных эталонных волокон вычитают из результатов измерений на образце.

Примечание — Колебания температуры образца во время испытаний должны лежать в диапазоне от 0,1 °С до 1 °С в зависимости от поведения образца во времени вследствие данного изменения.

7 Порядок проведения испытания

Методики проведения испытаний в соответствии с методами A, B, C и D указаны в приложениях A, B, C и D соответственно.

Измерения на эталонном волокне проводят при применении всех методов. Данные по эталонному волокну могут быть сохранены для использования их при проведении измерений на образцах. Измерения на эталонном волокне повторяют в случаях изменения в составе оборудования источника света или приемной оптики, или электронных устройств.

8 Расчеты

Расчет относительной задержки для каждого метода приведен в приложениях A, B, C и D соответственно.

Остальная часть настоящего раздела посвящена описанию числовой подгонки, применяемой к данным спектральной групповой задержки, нормированной по длине $\tau(\lambda)$, для каждого метода; также см. приложение E.

λ – длина волны, нм;

$\tau(\lambda)$ – подобранное значение нормированной спектральной групповой задержки, пс/км;

$D(\lambda)$ – коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км), вычисляемый по формуле

$$D(\lambda) = d\tau(\lambda) / d\lambda; \quad (1)$$

λ_0 – длина волны при нулевой дисперсии, нм;

$\tau(\lambda_0)$ – относительное минимальное значение задержки для длины волны при нулевой дисперсии, пс/км;

$S(\lambda)$ – крутизна дисперсии, пс/(нм^2·км), вычисляемая по формуле

$$\boldsymbol{S(\lambda) = dD(\lambda) / d\lambda}; \quad (2)$$

S_0 – крутизна дисперсии для длины волны при нулевой дисперсии, пс/(нм^2·км).

Примечание — $\tau(\lambda)$ и $D(\lambda)$ могут быть значениями прямых измерений или результатом подгонки значений прямых измерений к указанным функциям.

Например, в случаях когда функция подгонки данных указана, коэффициенты выражения в правой части уравнения подбирают таким образом, чтобы сумма квадратичных ошибок, относящихся к прямым измерениям, была минимальной.

Коэффициенты подгонки указаны как переменные A, B, C, D или E; также см. приложение E.

8.1 Многомодовые волокна категории A1 и типов A4f, A4g, A4h и одномодовые волокна категорий B1.1 и B1.3

Следующее применимо к многомодовым волокнам категории A1 и типов A4f, A4g, A4h и одномодовым волокнам категорий B1.1 и B1.3 на длинах волн около 1310 нм.

Подобранные значения задержки или дисперсии должны соответствовать математической форме трехчлена Зеллмайера (см. приложение E). Расчеты для коэффициента хроматической дисперсии $D(\lambda)$, длины волны при нулевой дисперсии λ_0 и крутизны дисперсии для длины волны при нулевой дисперсии S_0 приведены в приложении E.

Только в области 1550 нм хроматическую дисперсию допускается аппроксимировать как линейную функцию от длины волны (квадратичная подобранная математическая модель для данных задержки); см. приложение E.

8.2 Одномодовые волокна категории B1.2

Следующее применимо к одномодовым волокнам категории B1.2.

В зависимости от требований к точности для интервалов длин волн до 35 нм допускается использовать квадратичную подобранную математическую модель в области 1550 нм. Данное подобранное уравнение не должно быть применено в целях прогнозирования значений хроматической дисперсии для длин волн вне диапазона, использованного для подбора. Для больших интервалов длин волн рекомендуется использовать подобранную математическую модель в виде пятичлена Зеллмайера или полинома 4-го порядка. Это не предполагается использовать в области 1310 нм.

Расчеты для коэффициента хроматической дисперсии $D(\lambda)$ и крутизны дисперсии $S(\lambda)$ приведены в приложении E.

8.3 Одномодовые волокна категории B2

Следующее применимо к одномодовым волокнам категории B2.

В зависимости от требований к точности для интервалов длин волн до 35 нм допускается использовать квадратичную подобранную математическую модель в области 1550 нм. Данное подобранное уравнение не должно быть применено в целях прогнозирования значений хроматической дисперсии для длин волн вне диапазона, использованного для подбора. Для больших интервалов длин волн рекомендуется использовать подобранную математическую модель в виде пятичлена Зеллмайера или полинома 4-го порядка. Это не предполагается использовать в области 1310 нм.

Соответствующий коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$, длина волны при нулевой дисперсии λ_0 и крутизна дисперсии для длины волны при нулевой дисперсии S_0 приведены в приложении E.

8.4 Одномодовые волокна категорий B4 и B5

Следующее применимо к одномодовым волокнам категорий B4 и B5.

Как правило, для больших интервалов длин волн (более 35 нм) рекомендуется использовать подобранную математическую модель в виде пятичлена Зеллмайера или полинома 4-го порядка. Данное подобранное уравнение не должно быть применено в целях прогнозирования значений хроматической дисперсии для длин волн вне диапазона, использованного для подбора.

Примечание — Только для волокон категории B4 квадратичная подобранная математическая модель может быть использована при коротком интервале длин волн (≤ 35 нм). Данная подобранная математическая модель не должна быть применена в целях прогнозирования значений хроматической дисперсии для длин волн вне диапазона, использованного для подбора.

Соответствующий коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ и крутизна дисперсии $S(\lambda)$ приведены в приложении E.

9 Результаты

9.1 Информация, представляемая по каждому измерению:

- дата проведения и наименование измерения;
- уравнение (уравнения), используемое для расчета результатов;
- обозначение образца;
- длина образца, используемого для нормирования длины;
- результаты измерений по требованию в подробной спецификации на волокно.

Примечание — Примеры информации, требования к представлению которой могут содержаться в подробной спецификации на волокно:

a) значения коэффициента дисперсии, получаемые при измерении для указанных значений длин волн;

b) минимальное и/или максимальное значения дисперсии для указанного диапазона длин волн;

c) длина волны при нулевой дисперсии и крутизна дисперсии для данной длины волны.

9.2 Информация, предоставляемая по требованию:

- используемый метод измерений: A, B, C или D;
- описание оптического источника (источников) и длины волны, используемых при испытании;
- частота модуляции (если используют);
- описание детектора сигнала, электронных устройств обнаружения сигнала и устройства задержки сигнала;
- описание используемых методик расчета;
- дата последней калибровки измерительного оборудования.

10 Информация в подробной спецификации на волокно/кабель

Информация, содержащаяся в подробной спецификации на волокно/кабель:

- тип измеряемого волокна;
- критерии приемки или отбраковки;
- информация, представляемая в отчете;
- любое отклонение от установленного порядка проведения измерений.

Приложение А
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу А. Фазовый сдвиг

А.1 Оборудование

А.1.1 Источник света

Источник света должен быть стабильным по положению, по интенсивности излучения и по длине волны на промежутке времени, достаточно продолжительном для завершения процедуры измерения. Многолучевые лазерные диоды (для примера см. рисунок А.1), лазерные диоды с перестраиваемой длиной волны, светодиоды (для примера см. рисунок А.3) или широкополосные источники (например, Nd:YAG лазер с рамановским волокном или ASE источник) могут быть использованы в зависимости от диапазона длин волн, выбранного при измерении.

Длина волны, возбуждающей испытуемое волокно, может быть выбрана с использованием оптического переключателя, монохроматора, дисперсионных устройств, оптических фильтров, оптических муфт или с помощью настройки лазера в зависимости от типа источников света и измерительной установки. Селектор длин волн может быть использован на входе или выходе испытуемого волокна.

Для волокон категории В1, на которых проводят измерения с использованием системы, работающей на трех длинах волн и в которой эти длины волн включают в себя длину волны с нулевой дисперсией λ_0 (см. рисунок А.2), допустимое отклонение или нестабильность $\delta\lambda$ центральной длины волны приведет к максимальным погрешностям $3\delta\lambda$ при измерении λ_0. Максимальные погрешности при измерении крутизны дисперсии S_0 прямо пропорциональны $\delta\lambda/\Delta\lambda$ (где $\Delta\lambda$ – интервал между значениями длины волны источника) и будут равны приблизительно 0,012 пс/(нм^2·км) для $\delta\lambda/\Delta\lambda$ = 1 нм/30 нм.

Погрешностей, меньших вышеуказанных максимальных погрешностей, достигают при использовании оптических источников со средней длиной волны, близкой к ожидаемому значению λ_0 для образца, или при использовании более трех значений длины волны, или применяя оба данных способа.

Как правило, в случае использования лазерных источников достаточно одного лазерного диода с одной продольной модой, регулируемой температурой и стабилизацией выходной мощности (например, PIN-диод с обратной связью). Дополнительный лазер может потребоваться для эталонной линии для установок при проведении измерений в полевых условиях (см. А.1.4).

А.1.2 Ширина спектра

Ширина спектра источника при измерении на образце должна быть не более 10 нм по уровню 50 % максимальной мощности (FWHM).

А.1.3 Модулятор

С помощью модулятора проводят амплитудную модуляцию сигналов источников света с целью получить форму сигнала с одной, доминантной составляющей Фурье. Например, может быть приемлемой модуляция сигнала с синусоидальной, трапецеидальной или прямоугольной формой волны. Стабильность частоты должна быть достигнута минимум для одной моды из 106.

При измерении фазового сдвига необходимо избегать неопределенности, связанной с градуировкой 360(n), где n – целое число, путем отслеживания изменений фазы в 360° или выбора частоты модулятора, достаточно низкой для ограничения относительных фазовых сдвигов до значений, меньших 360°. Максимальную частоту для фазового сдвига в 360° для волокон категории В1 определяют по формуле

$$f_{max} = \frac{8 \cdot 10^6}{S_0 L}\left[\left(\lambda_i - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_i}\right)^2 - \left(\lambda_j - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_j}\right)^2\right]^{-1}, \quad (А.1)$$

где f_{max} — максимальная частота для фазового сдвига в 360° для волокон категории В1, МГц;

L — максимальное ожидаемое значение длины образца, км;

S_0 — ожидаемое типовое значение крутизны дисперсии при λ_0, пс/(нм^2·км);

λ_0 — ожидаемое типовое значение длины волны при нулевой дисперсии, нм;

λ_i и λ_j — пара значений длины волны, используемая при измерениях и минимизирующая f_{max}.

Частота модулятора должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить адекватную точность измерения.

Следующая формула служит примером зависимости точности измерений от характеристик испытательной системы: для волокон категории В1 и системы, работающей на трех длинах волн, в которой интервал между значениями длины волны источников равен $\Delta\lambda$, максимальные погрешности будут равны 0,0012 пс/(нм^2·км) для S_0 и 0,4 нм для λ_0 при минимальной частоте модулятора f_{min}, определяемой по формуле

$$f_{min} = \frac{\Delta\phi \cdot 10^7}{L(\Delta\lambda)^2}, \quad (А.2)$$

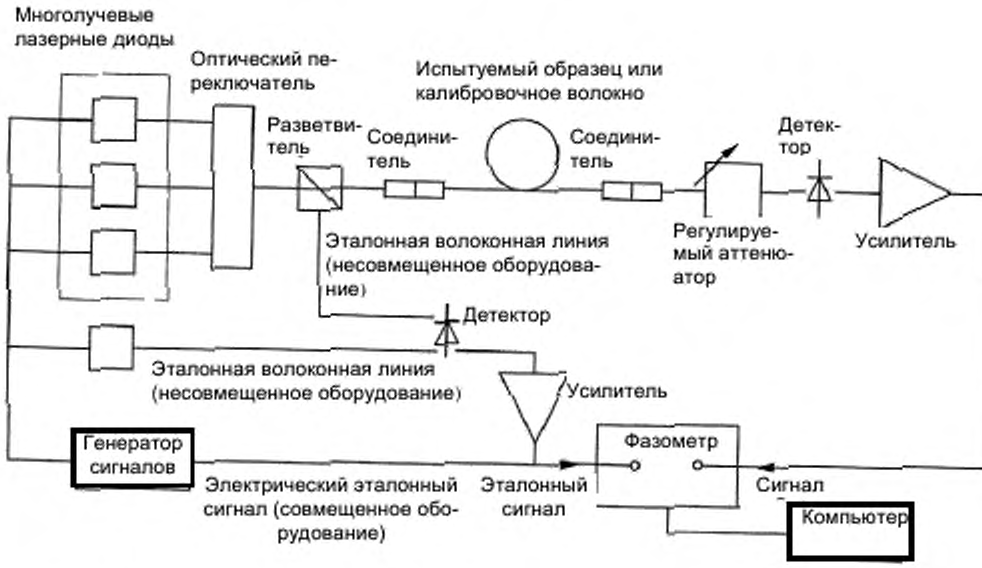

Рисунок А.1 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии. Система на основе многолучевого лазера (типовая)

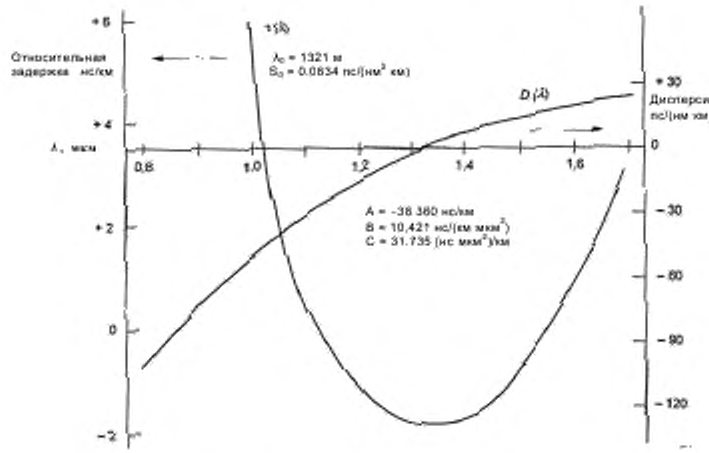

Рисунок А.2 – Типовая задержка и кривые дисперсии

где f_{min} — минимальная частота модулятора, МГц;

$\Delta\varphi$ — общая нестабильность фазы измерительного оборудования, градусы;

L — минимальное ожидаемое значение длины образца, км;

$\Delta\lambda$ — средний интервал между значениями длины волны соседних источников, нм.

Следовательно, для $\Delta\varphi = 0{,}1°$, $L = 10$ км и $\Delta\lambda = 32$ нм требуется минимальная частота, равная приблизительно 100 МГц.

Примечания

1 Уравнение (А.2) было выведено путем неоднократного решения в целях определения λ_0 и S_0 уравнения временной задержки (2) в разделе 8 с различными интервалами значений длины волны и нестабильности фазы.

2 Погрешностей, меньших вышеуказанных максимальных погрешностей, достигают путем выбора источников, имеющих среднее значение длины волны, близкое к ожидаемому значению λ_0 для образца, и использования более трех значений длины волны или применения обоих данных способов.

Фазовая модуляция у каждого источника света может настраиваться для упрощения калибрования комплекта оборудования для проведения измерений.

А.1.4 Детектор сигнала и электронные устройства для обнаружения сигнала

Совместно с фазометром используют оптический детектор, чувствительный в диапазоне измеряемых длин волн. Усилитель может быть использован для повышения чувствительности системы обнаружения. Типовая система может включать в себя PIN-фотодиод, FET-усилитель и векторный вольтметр.

Система детектор-усилитель-фазометр реагирует только на основную составляющую Фурье модулирующего сигнала и выдает значение фазового сдвига сигнала, постоянное в диапазоне полученной мощности оптического сигнала. Диапазоном полученной мощности можно управлять при помощи регулируемого оптического аттенюатора.

А.1.5 Эталонный сигнал

Эталонный сигнал с той же доминантной составляющей Фурье, что и модулирующий сигнал, подают на фазометр, в котором измеряют дифференциальные фазы источников сигнала. Эталонный сигнал должен быть синхронизирован по фазе с модулирующим сигналом и его, как правило, получают из модулирующего сигнала.

Примеры конфигураций эталонного сигнала (см. рисунки А.1 и А.3 для примеров a, b и c).

a) В случае совмещения источников сигнала и детектора, например при лабораторных испытаниях или во время калибрования, электрическое соединение может быть использовано между генератором сигнала и эталонным портом фазометра.

b) Оптический переключатель, помещенный перед образцом, и детектор могут также быть использованы при совмещенном оборудовании.

c) При полевых испытаниях оптических кабелей (источники и детектор не совмещены) может быть применена оптическая линия, как правило, включающая в свой состав источник модулированного светового сигнала, волокно и детектор, аналогичные используемым для образца.

d) Эталонный сигнал при полевых испытаниях может также передаваться по испытуемому волокну с использованием уплотнения по длинам волн.

А.2 Проведение испытаний

А.2.1 Калибрование

Помещают эталонное волокно (6.3) в измерительное устройство и вводят эталонный сигнал (А.1.5). Измеряют и регистрируют фазу $\varphi_m(\lambda_i)$ для каждого источника сигнала.

В качестве альтернативы, если фаза источников сигнала может быть регулируемой, то при размещении эталонного волокна в измерительном устройстве фазы всех источников сигнала должны быть выровнены. Затем проводят измерения на образце как описано в А.2.2. В этом случае $\varphi_m(\lambda_i) = 0$ для расчетов в А.3.1.

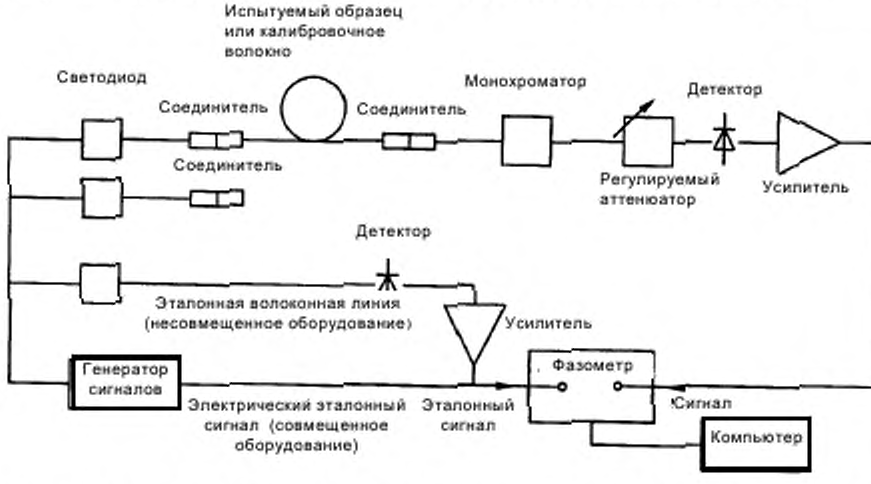

Рисунок А.3 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии. Система на основе светодиодов (типовая)

А.2.2 Измерения на образце

Помещают образец в измерительное устройство и вводят эталонный сигнал (см. А.1.5). Измеряют и регистрируют фазу $\varphi_{out}(\lambda_i)$ каждого источника сигнала.

Примечание — Все измерения на образце и калибровочные или выравнивающие измерения проводят при уровне мощности оптического сигнала на входе детектора, настроенного на диапазон сигнала, позволяющий минимизировать фазовые сдвиги в детекторе и электронных устройствах детектора, зависящие от уровня мощности.

А.3 Расчеты

А.3.1 Вычитают измеренное входное значение фазы для каждой длины волны из выходного значения фазы для этой длины волны. Относительная групповая задержка

$$\tau(\lambda_i) = [\varphi_{out}(\lambda_i) - \varphi_{in}(\lambda_i)]\frac{10^6}{360 \cdot f \cdot L} \text{ для всех } \lambda_i, \quad (А.3)$$

где $\tau(\lambda_i)$ — относительная групповая задержка, пс/км;

$\varphi_{out}(\lambda_i)$ — значение, измеренное в А.2.2, градусы;

$\varphi_{in}(\lambda_i)$ — значение, измеренное в А.2.1, градусы;

f — частота модулирующего сигнала, МГц;

L — длина образца без участка для калибрования, км.

А.3.2 Используя данные задержки в А.3.1, рассчитывают значения, максимально соответствующие одному из уравнений задержки в разделе 8.

А.3.3 Используя максимально точно подобранные значения соответствующих коэффициентов из раздела 8, рассчитывают дисперсию $D(\lambda)$ или другие параметры, указанные в стандартах технических условий на волокно. Рисунок А.2 представляет собой пример данных задержки $\tau(\lambda)$ и рассчитанной дисперсии $D(\lambda)$.

А.3.4 Дисперсия может быть определена через значения длины волны при нулевой дисперсии λ_0 и крутизны S_0 или указанием коэффициента хроматической дисперсии для одного или более значений длины волны или обоими этими способами. В некоторых случаях длина волны при нулевой дисперсии и параметры крутизны используют только для расчета коэффициента дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии.

Если указано значение длины волны при нулевой дисперсии, то значения длины волны, на которых проводят измерения, должны включать в себя значение длины волны при нулевой дисперсии или включать в себя данные для значения длины волны в пределах 100 нм. Если значения длины волны при нулевой дисперсии и крутизны используют только для расчета коэффициентов дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии, то измерения должны охватывать значения длин волн, для которых проводят расчеты. Если коэффициент дисперсии указан, измерения должны охватывать диапазон длин волн, для которого указан коэффициент дисперсии. В приложении Е приведена информация по измеряемым диапазонам длин волн и соответствующей методике подбора математической модели.

Приложение В
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу В. Спектральная групповая задержка во временной области

В.1 Оборудование

В.1.1 Источник света

В.1.1.1 Волоконный рамановский лазер

Система на основе волоконного рамановского лазера, состоящая из Nd:YAG лазера с синхронизацией мод и модуляцией добротности, который возбуждает соответствующий отрезок (приблизительно 200 м) одномодового волокна, и устройства фильтрации спектра, такого как, например, дифракционный монохроматор, должна обладать способностью генерировать оптические импульсы малой длительности [< 400 пс по уровню полумаксимума (FWHM)] и достаточной интенсивности и пространственной и временной стабильности излучения для проведения указанных измерений (см. рисунок В.1).

В.1.1.2 Многолучевые лазерные диоды

Многолучевые (три или более) инжекционные лазерные диоды, работающие на нескольких длинах волн, считают пригодными для целей данных измерений, если они имеют малую длительность импульса (менее 400 пс FWHM), стабильны по интенсивности излучения и могут быть стабильно приведены в действие во время измерения (см. рисунок В.2).

В.1.1.3 Лазерные диоды с регулируемой длиной волны

Один или более лазерных диодов с регулируемой длиной волны (например, лазер с внешним резонатором) допускается использовать, если они генерируют импульсы малой длительности (менее 400 пс FWHM), стабильны по интенсивности излучения, могут обеспечивать стабильность длины волны и могут быть стабильно приведены в действие во время измерения.

В.1.1.4 Ширина спектра

Ширина спектра источника при измерении на образце должна быть не более 10 нм при уровне значений мощности излучения в 50 % максимума (FWHM).

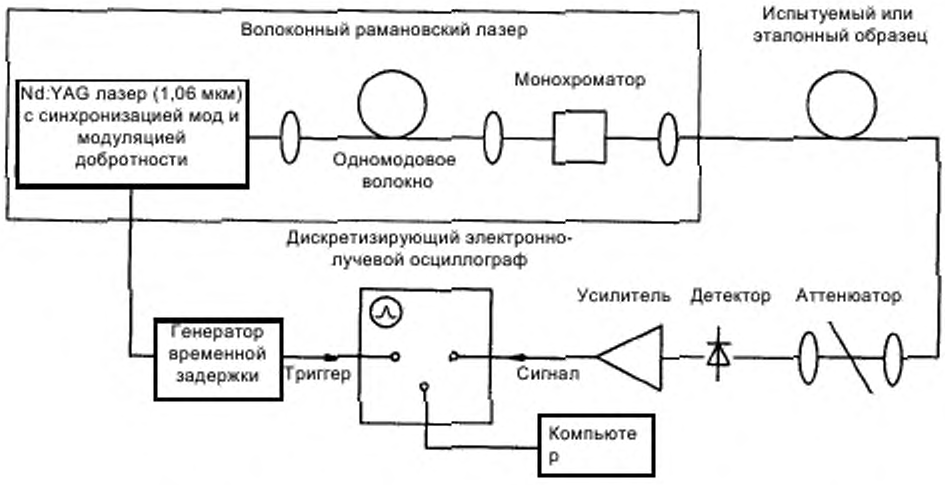

Рисунок В.1 – Структурная схема. Система на основе волоконного рамановского лазера

В.1.2 Детектор сигнала

Применяют высокоскоростной оптический детектор, например германиевый лавинный фотодиод, чувствительный в диапазоне используемых длин волн. Он должен быть линейным в пределах 10 % превышения диапазона возникающих значений интенсивности излучения. Ограничивающее условие линейности заключается в том, что вершина импульса не сжата в целях невоздействия на ее положение на временной оси. Широкополосный усилитель допускается использовать для увеличения чувствительности системы обнаружения сигнала при условии соответствия требованиям стандартов технических условий на волокно по скорости и линейности. Оптический аттенюатор может быть использован для поддержания постоянной амплитуды сигнала.

В.1.3 Электронные устройства обнаружения сигнала

Используют измерительное устройство и/или устройство отображения, как правило, высокочастотный дискретизирующий осциллограф, способный отображать относительное время прихода оптических импульсов на откалиброванной временной шкале.

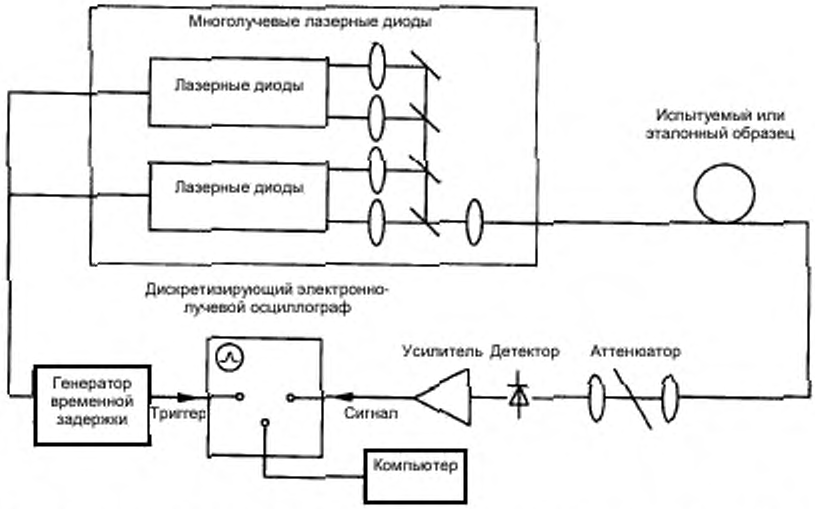

Рисунок В.2 – Структурная схема. Система на основе многолучевого лазерного диода

В.1.4 Устройство задержки

Применяют такое устройство, как, например, цифровой генератор задержки, который либо инициирует источник, либо инициируется источником и который способен передавать задержанный стартовый сигнал для электронных устройств обнаружения сигнала (дискретизирующий осциллограф) в целях компенсации разницы распространения задержки между испытуемым и эталонным образцами. Данное устройство должно обеспечивать стабильность времени задержки при измерениях в пределах менее 50 пс для среднеквадратичных значений дрожания и сдвига фазы.

В.2 Проведение испытаний

В.2.1 Измерения на эталонном образце

Эталонный образец вставляют в измерительное устройство и настраивают длину волны источника света на первое значение длины волны для проведения измерения. Настраивают генератор задержки для получения изображения входного импульса на известной, откалиброванной временной шкале осциллографа.

Положение импульса определяется его пиковым значением или центроидом. Регистрируют временное положение данного импульса по отношению к координатной метке (например, координатной сетке дисплея) калиброванной развертки для этого первого, эталонного значения длины волны.

Настраивают источник света на следующую длину волны и, без изменения задержки генератора, регистрируют временную разницу $\tau_{in}(\lambda_i)$ между положениями данного импульса и импульса с эталонной длиной волны. Повторяют данную процедуру для всех указанных длин волн и представляют результаты в виде изменения положения импульса по отношению к эталонной длине волны.

Примечание — При данном методе измерения точность задержки в устройстве задержки допускается не учитывать. Если вследствие больших временных различий импульсов для разных длин волн невозможно провести данные измерения, то необходимо использовать генератор задержки или похожий инструмент известной точности и регистрировать время задержки данного генератора и положение импульса на осциллографе для каждой длины волны для достижения требуемого результата.

В.2.2 Измерения на образце

Образец вставляют в измерительное устройство, выбирают первое значение длины волны и настраивают генератор задержки для получения изображения входного импульса на известной, откалиброванной временной шкале осциллографа.

Регистрируют положение данного импульса на временной шкале.

Настраивают источник света на следующую длину волны и регистрируют временную разницу $\tau_{out}(\lambda_i)$ между положениями данного импульса и импульса с эталонной длиной волны, указанную выше, без перенастройки генератора задержки импульса. Данную процедуру повторяют для всех указанных длин волн, результаты представляют

в виде временного сдвига положения выходного импульса по отношению к положению импульса при эталонной длине волны. Если проводить измерения данным способом не представляется возможным, то поступают, как указано в примечании В.2.1.

Вычитают измеренное значение временного сдвига входного импульса для каждой длины волны из значения сдвига выходного импульса при этой же длине волны.

В.3 Расчеты

В.3.1 Групповую задержку на единицу длины $\tau(\lambda_i)$ определяют по формуле

$$\tau(\lambda_i) = \frac{[\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i)]}{L}, \quad (B.3)$$

где $\tau_{in}(\lambda_i)$ — значение, измеренное в В.2.1;

$\tau_{out}(\lambda_i)$ — значение, измеренное в В.2.2;

L — длина испытуемого волокна минус длина эталонного волокна, км.

В.3.2 Используя данные из В.3.1, определяют наиболее точно соответствующее значение одному из уравнений задержки, указанных в разделе 8.

В.3.3 Используя наиболее точно соответствующие значения соответствующих коэффициентов из раздела 8, рассчитывают дисперсию $D(\lambda)$ или другие параметры, указанные в стандартах технических условий на волокно. На рисунке А.2 представлены пример подобранных данных задержки $\tau(\lambda)$ и рассчитанные значения дисперсии $D(\lambda)$.

В.3.4 Дисперсия может быть определена через значения длины волны при нулевой дисперсии λ_0 и крутизны S_0 или указанием коэффициента хроматической дисперсии для одного или более значений длины волны или обоими этими способами. В некоторых случаях длина волны при нулевой дисперсии и параметры крутизны используются только для расчета коэффициента дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии.

Если указано значение длины волны при нулевой дисперсии, то значения длины волны, на которых проводят измерения, должны включать в себя значение длины волны при нулевой дисперсии или данные для значения длины волны в пределах 100 нм. Если значения длины волны при нулевой дисперсии и крутизны используются только для расчета коэффициентов дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии, то измерения должны охватывать значения длины волны, для которых проводят расчеты. Если коэффициент дисперсии указан, измерения должны охватывать диапазон длин волн, для которого указан коэффициент дисперсии. В приложении Е приведена информация по измеряемым диапазонам длин волн и соответствующей методике подбора математической модели.

Приложение С
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу С. Дифференциальный фазовый сдвиг

С.1 Оборудование

С.1.1 Источник света

С.1.1.1 Многолучевые лазерные диоды

При использовании лазерных диодов требуется два значения длины волны лазера для каждого измерения хроматической дисперсии (см. рисунок С.1). Центральная длина волны и модулированная выходная фаза каждого источника должны быть стабильными во время измерений при возникающих токе смещения, частоте модуляции и температуре диода.

Может быть применен лазерный диод с регулируемой температурой, с одной продольной модой или несколькими продольными модами и со стабилизацией выходной мощности (например, путем формирования сигнала с обратной связью с использованием оптического детектора). Дополнительный лазер может потребоваться для эталонной цепи в установках для проведения измерений в полевых условиях (см. С.1.4).

С.1.1.2 Светодиоды с последующей фильтрацией

Используют один или более светодиодов (см. рисунок С.2). Их спектры должны фильтроваться, как правило, с помощью монохроматора для получения ширины спектра при измерении на образце, которая должна быть не более 10 нм при уровне значений мощности излучения в 50 % максимума (FWHM).

С.1.2 Модулятор

В модуляторе происходит амплитудная модуляция сигнала с источника света в целях получения формы волны с одной доминантной составляющей Фурье. Например, может быть приемлемой модуляция сигнала с синусоидальной, трапецеидальной или прямоугольной формой волны. Как правило, достаточной бывает стабильность частоты в одну миллионную долю.

При измерении дифференциального фазового сдвига необходимо избегать неопределенности, связанной с градуировкой 360(n), где n — целое число, посредством, например, уменьшения частоты модулятора для более длинных образцов, применения больших коэффициентов дисперсии или обоими этими способами. Например, может быть выбрана достаточно низкая частота модуляции с целью ограничить дифференциальные фазовые сдвиги до значений, меньших 360° для каждой пары длин волн. Максимальная частота для волокон категории В1 может быть определена по формуле

$$f_{max} = \frac{4 \times 10^{12} \lambda_i^3 \left(\lambda_i^4 - \lambda_0^4\right)^{-1}}{S_0 \cdot L \cdot \Delta\lambda}, \qquad (C.1)$$

где f_{max} — максимальная частота, Гц ;

λ_i — длина волны источника, позволяющая минимизировать f_{max} , нм;

λ_0 — ожидаемое типовое значение длины волны при нулевой дисперсии, нм;

S_0 — ожидаемое типовое значение крутизны дисперсии при λ_0 , пс/(нм^2·км);

L — длина образца, км;

$\Delta\lambda$ — интервал длин волн между точками измерения дифференциальной фазы, нм.

Частота модулятора должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить адекватную точность измерения.

Интервал длин волн $\Delta\lambda$ между точками измерения дифференциальной фазы, как правило, лежит в диапазоне 2 – 20 нм.

С.1.3 Детектор сигнала и электронные устройства для обнаружения сигнала

Используют оптический детектор, чувствительный в диапазоне измеряемых длин волн, совместно с фазометром. Усилитель может быть использован для повышения чувствительности системы обнаружения. Типовая система может включать в себя PIN-фотодиод, FET-усилитель и фазочувствительный детектор.

Система детектор-усилитель-фазометр будет реагировать только на основную составляющую Фурье модулирующего сигнала и выдавать постоянное в диапазоне полученной мощности оптического сигнала значение фазового сдвига сигнала.

Устройство обработки сигнала будет регистрировать разностный сигнал на выходе фазометра, созданный парой значений длин волн, используемых при испытании, и передавать выходной сигнал, представляющий собой дифференциальную фазу между двумя значениями длин волн, на компьютер (систему сбора и обработки данных). Выбор длины волны и измерение относительной фазы для двух значений длин волн должны быть проведены достаточно быстро, чтобы на результат не повлиял дрейф длины образца. Блок обработки сигнала может быть реализован несколькими способами; три примера приведены ниже.

В первом примере, изображенном на рисунках С.1 и С.2, блок обработки сигнала регистрирует значение фазы для одного значения длины волны, которое используется при проведении испытания, и затем регистрирует значение фазы для другого значения длины волны. Хроматическую дисперсию для среднего значения длины волны определяют из дифференциальной фазы и длины волокна. Блок, обозначенный на рисунке С.2 как «обработка сигнала», может входить в состав компьютера. Второй пример представлен на рисунке С.3. Эталонный сигнал для фазометра сам по себе представляет одно из двух значений длин волн, используемых при проведении испытания и передаваемых по волокну.

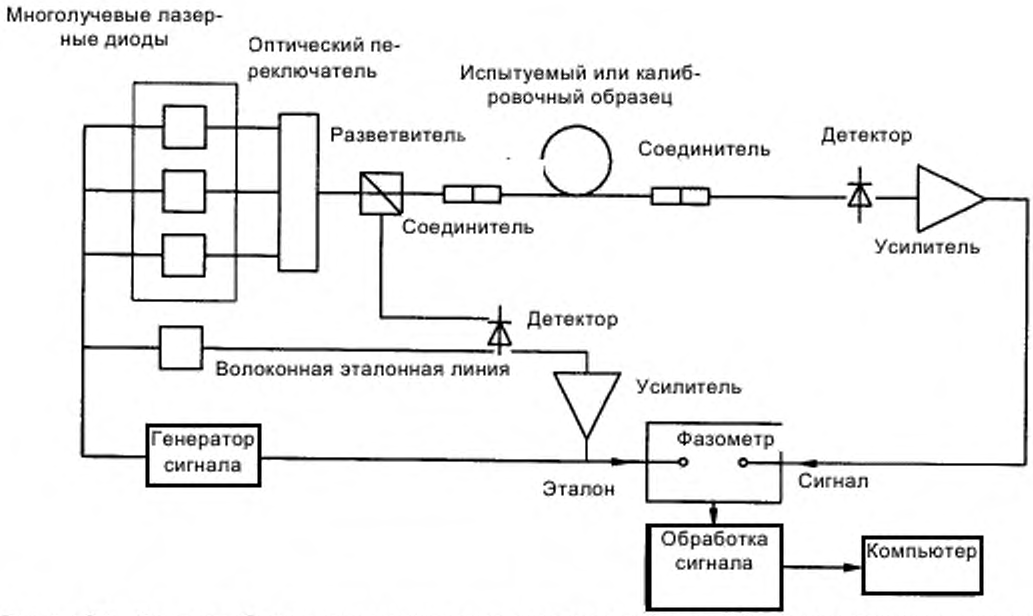

Рисунок С.1 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии с использованием значения дифференциальной фазы. Система на основе многолучевого лазера

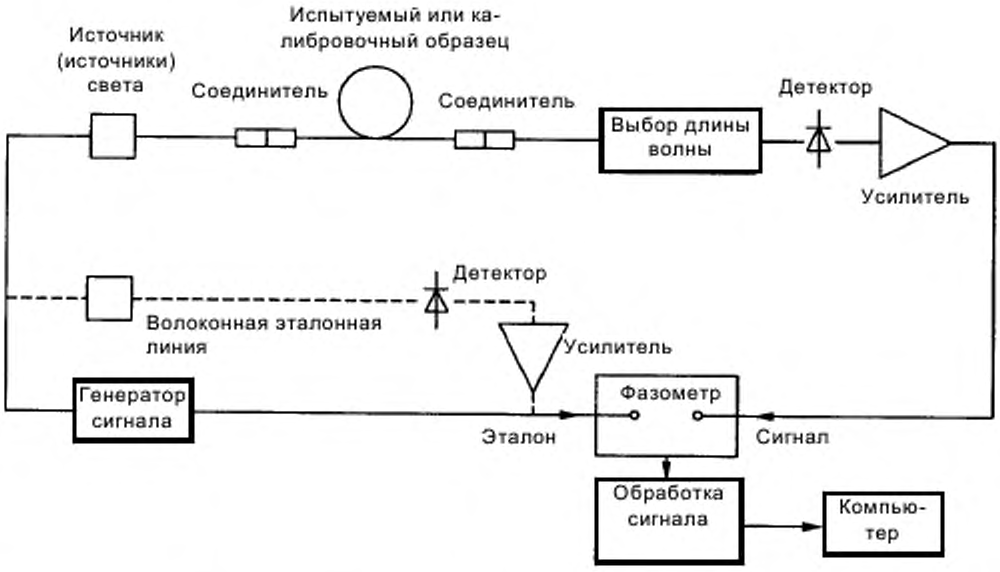

Рисунок С.2 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии с использованием значения дифференциальной фазы.
Система на основе светодиода

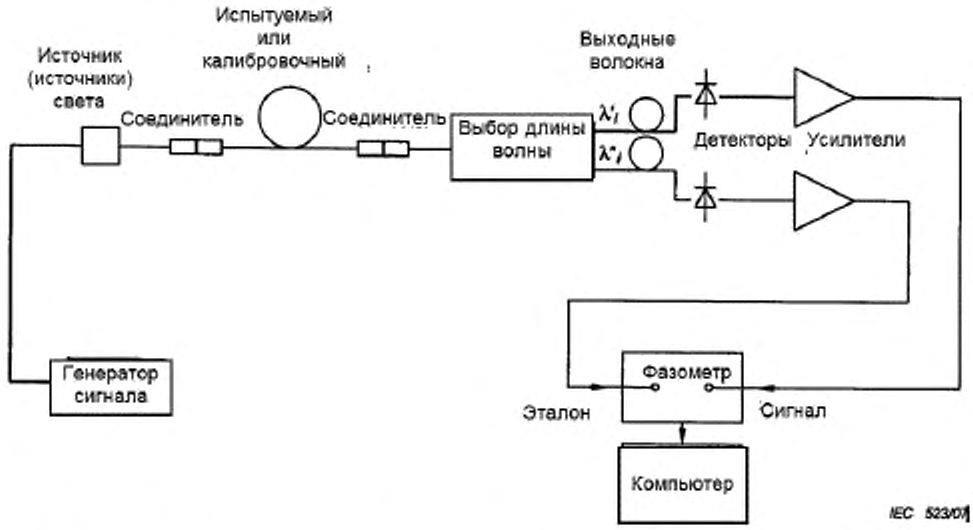

Рисунок С.3 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии. Измерение дифференциальной фазы методом двух длин волн

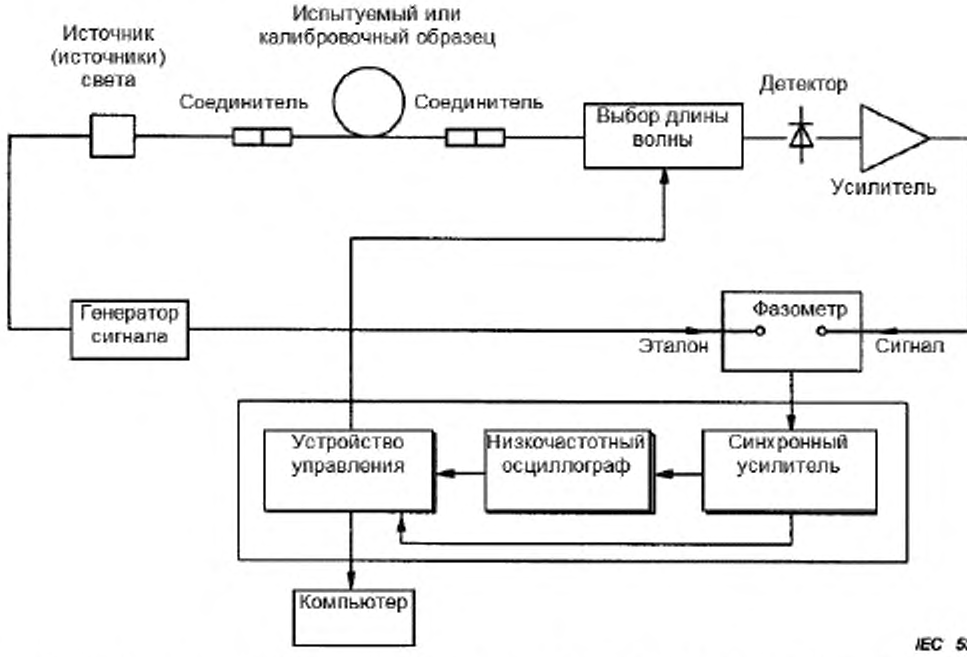

Рисунок С.4 – Комплект оборудования для измерения хроматической дисперсии. Измерение дифференциальной фазы методом двойной демодуляции

Третий пример представлен на рисунке С.4. Свет попеременно излучается с двумя значениями длин волн на частоте в несколько сотен герц, что позволяет с помощью фазометра измерять дифференциальную фазу выходно-

го сигнала. Фазометр вырабатывает сигнал переменного тока, синхронный с модуляцией длины волны, с амплитудой, пропорциональной дифференциальной фазе между двумя значениями длины волны, используемыми при испытании. Затем сигнал демодулируется синхронным усилителем в целях выработки сигнала постоянного тока, представляющего дифференциальную фазу. Хроматическую дисперсию определяют для среднего значения длины волны, используя значения дифференциальной фазы и длины волокна.

Оптические средства, например регулируемый оптический аттенюатор, могут быть применены для управления принимаемой оптической мощностью.

С.1.4 Эталонный сигнал

Эталонный сигнал с той же основной составляющей Фурье, что и модулирующий сигнал, подают на фазометр, с помощью которого измеряют дифференциальные фазы источников сигнала. Эталонный сигнал должен быть синхронизирован с модулирующим сигналом, и его, как правило, получают из модулирующего сигнала.

Ниже приведены примеры эталонных сигналов (см. рисунок С.1):

a) В случае совмещения источников сигнала и детектора, например при лабораторных испытаниях или во время калибрования, электрическое соединение может быть использовано между генератором сигнала и эталонным портом фазометра.

b) Оптический переключатель, помещенный перед образцом, и детектор могут также быть использованы при совмещенном оборудовании.

c) При полевых испытаниях оптических кабелей (источники и детектор не совмещены) может быть использована оптическая линия, как правило, включающая в свой состав источник модулированного светового сигнала, волокно и детектор, аналогичные используемым для образца.

С.2 Проведение испытаний

С.2.1 Измерения на образце

Образец помещают в измерительное оборудование и вводят эталонный сигнал. Измеряют и регистрируют дифференциальную фазу $\Delta\varphi(\lambda_i)$ соседних пар значений длин волн λ'_i и λ''_i со средним значением длины волны λ_i.

С.2.2 Калибрование

Образец помещают в измерительное оборудование и вводят эталонный сигнал. Измеряют и регистрируют дифференциальную фазу $\Delta\varphi'(\lambda_i)$ соседних пар значений длин волн λ'_i и λ''_i со средним значением длины волны λ_i.

Примечание — Все измерения на образце и калибровочные измерения проводят при уровне мощности оптического сигнала на входе детектора, настроенного на диапазон сигнала, позволяющий минимизировать фазовые сдвиги в детекторе и электронных устройствах детектора, зависящие от уровня мощности.

С.3 Расчеты

Дисперсию рассчитывают следующим образом. Вычитают значение дифференциальной фазы калибровочного волокна для каждой пары значений длин волн из соответствующего значения дифференциальной фазы образца.

С.3.1 Коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda_i)$ для каждого значения длины волны λ_i определяют по формуле

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\varphi(\lambda_i) - \Delta\varphi'(\lambda_i)}{360 \cdot f \cdot L \cdot \Delta\lambda} 10^{12}, \qquad (C.2)$$

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

λ_i — среднее значение двух значений длин волн λ'_i и λ''_i, нм;

$\Delta\varphi(\lambda_i)$ — измерено в С.2.1, градусы;

$\Delta\varphi'(\lambda_i)$ — измерено в С.2.2, градусы;

f — частота модулирующего сигнала, Гц;

L — длина образца без участка, используемого для калибрования, км.

$\Delta\lambda = \lambda'_i - \lambda''_i$, нм.

С.3.2 Коэффициент хроматической дисперсии сам по себе может характеризовать испытуемое волокно. Для измерения коэффициента (коэффициентов) дисперсии для значений длин волн (значения длины волны), используемых при измерении, другие расчеты и обработка данных не требуются.

С.3.3 Дисперсия может быть определена через значения длины волны при нулевой дисперсии λ_0 и крутизны S_0 или указанием коэффициента хроматической дисперсии для одного или более значений длины волны или обоими этими способами. В некоторых случаях длина волны при нулевой дисперсии и параметры крутизны используются только для расчета коэффициента дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии.

Если указано значение длины волны при нулевой дисперсии, то значения длины волны, на которых проводят измерения, должны включать в себя значение длины волны при нулевой дисперсии или данные для значения длины волны в пределах 100 нм. Если значения длины волны при нулевой дисперсии и крутизны используются только для расчета коэффициентов дисперсии для значений длин волн, значительно отстоящих от значения длины волны при нулевой дисперсии, то измерения должны охватывать значения длины волны, для которых проводят расчеты. Если коэффициент дисперсии указан, измерения должны охватывать диапазон длин волн, для которого указан коэффициент дисперсии. В приложении Е приведена информация, относящаяся к измеряемым диапазонам длин волн и соответствующей методике подбора математической модели.

Приложение D
(обязательное)

Требования, относящиеся к методу D. Интерферометрия

D.1 Оборудование

Схематичные чертежи двух примеров испытательных систем для измерения хроматической дисперсии с использованием интерферометрического метода, эталонного волокна и воздушной эталонной траектории представлены на рисунках D.1 и D.2 соответственно.

D.1.1 Источник света

Интенсивность и длина волны источника света должны быть стабильными во время измерения в диапазоне используемых длин волн. Используют соответствующий источник света, например YAG лазер с рамановским волокном, лампу или светодиод и т. д. При использовании методики синхронного усиления сигнала достаточно источника света с низкочастотной модуляцией (50 – 500 Гц). Для модуляции света полезно задействовать модулятор света.

D.1.2 Волновой селектор

С помощью волнового селектора выбирают значение длины волны, для которого измеряют групповую задержку. Допускается использовать, например, монохроматор, оптический интерференционный фильтр или другой волновой селектор в зависимости от типа оптических источников и измерительных систем. Волновой селектор размещают либо на входном, либо на выходном конце испытуемого волокна. Ширина спектра на выходе волнового селектора должна быть ограничена точностью измерения дисперсии и составлять приблизительно 2 – 10 нм.

D.1.3 Детектор сигнала

Оптический детектор должен быть чувствительным в диапазоне измеряемых длин волн. При необходимости полученный сигнал может быть усилен с помощью, например, трансимпедансной цепи. Для регистрации интерференционной картины может быть использован синхронный усилитель.

D.1.4 Оптическая эталонная траектория

Оптическая эталонная траектория состоит из устройства линейного позиционирования и эталонного оптического волокна или оптической линии задержки.

Примечание — При использовании воздушной траектории в качестве оптической линии задержки хроматическая дисперсия отсутствует. Следовательно, хроматическая дисперсия испытуемого волокна может быть легко измерена. Если оптическое волокно выбрано в качестве эталона волокно калибруют с помощью данного метода испытания, при котором используется воздушная эталонная траектория. Существует возможность применить другой метод испытания, например А, В или С, описанный в настоящем стандарте, для калибрования эталонного волокна, если продольное отклонение значения хроматической дисперсии пренебрежительно мало.

D.1.4.1 Устройство линейного позиционирования

Устройство линейного позиционирования размещают на эталонной траектории для обеспечения баланса оптической длины двух траекторий интерферометра. Устройство позиционирования должно иметь достаточную точность, однородность и стабильность линейного перемещения. Изменение длины должно охватывать диапазон от 20 до 10 мм при точности 2 мкм.

Используют эталонное волокно, приблизительно равное по длине испытуемому волокну. Значение групповой задержки эталонного волокна должно быть известно для диапазона длин волн, при которых проводят измерения. Эти значения необходимо знать для расчета групповой задержки испытуемого волокна.

Примечание — Не допускается повторное расщепление эталонного волокна. Повторное расщепление может влиять на точность измерения.

D.1.4.2 Оптическая линия задержки

Значение групповой задержки для оптической линии задержки должно быть известно для диапазона длин волн, при которых проводят измерения. Эти значения необходимо знать для расчета групповой задержки испытуемого волокна.

D.1.5 Обработка данных

Для анализа интерференционных картин используют компьютер с соответствующим программным обеспечением.

D.2 Проведение испытания

D.2.1 Измерения на образце

Испытуемый образец помещают в измерительное устройство и выбирают соответствующую длину волны λ_1. С помощью устройства линейного позиционирования определяют положение x_1, в котором генерируется максимальная интерференционная картина, и регистрируют его.

Затем выбирают другую длину волны λ_2 и с помощью устройства линейного позиционирования определяют положение x_2, в котором генерируется максимальная интерференционная картина, и регистрируют его. Повторяют данную процедуру соответствующее число раз для длин волн λ_i и регистрируют x_i, как показано на рисунке D.3.

D.3 Расчеты

D.3.1 Групповая задержка на единицу длины

Разницу во времени групповой задержки $\Delta t_{gm}(\lambda_i)$ между эталонной траекторией и испытательной траекторией выражают формулой

$$\Delta t_{gm}(\lambda_i) = (x_1 - x_i) / c, \qquad (D.1)$$

где c – скорость света в вакууме.

В случае, когда спектральная групповая задержка эталонной траектории равна $\Delta t_{gr}(\lambda_i)$, групповую задержку испытуемого образца $\Delta t_{gt}(\lambda_i)$ определяют по формуле

$$\Delta t_{gt}(\lambda_i) = \Delta t_{gm}(\lambda_i) + \Delta t_{gr}(\lambda_i). \qquad (D.2)$$

Отношение $\Delta t_{gt}(\lambda_i)$ к длине испытуемого волокна L даёт измеренное значение групповой задержки на единицу длины $\tau(\lambda)$ для испытуемого волокна.

D.3.2 Используя данные из D.3.1, определяют наиболее точно соответствующее значение одному из уравнений задержки, указанных в приложении Е.

D.3.3 Используя наиболее точно соответствующие значения соответствующих коэффициентов из приложения Е, рассчитывают дисперсию $D(\lambda)$, или другие параметры, указанные в стандартах технических условий на волокно. На рисунке D.3 представлены пример данных задержки $\tau(\lambda)$ и рассчитанные значения коэффициента дисперсии $D(\lambda)$.

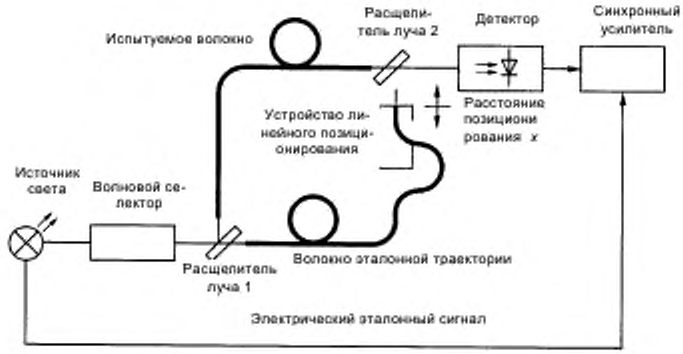

Рисунок D.1 – Комплект испытательного оборудования для измерения хроматической дисперсии волокна. Интерферометрия по волоконной эталонной траектории

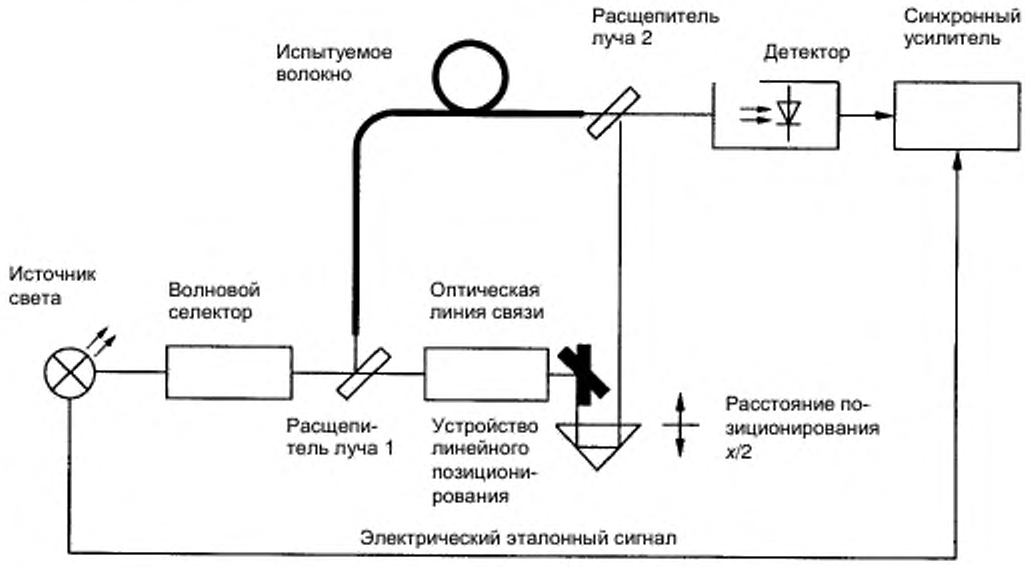

Рисунок D.2 – Комплект испытательного оборудования для измерения хроматической дисперсии волокна. Интерферометрия по воздушной эталонной траектории

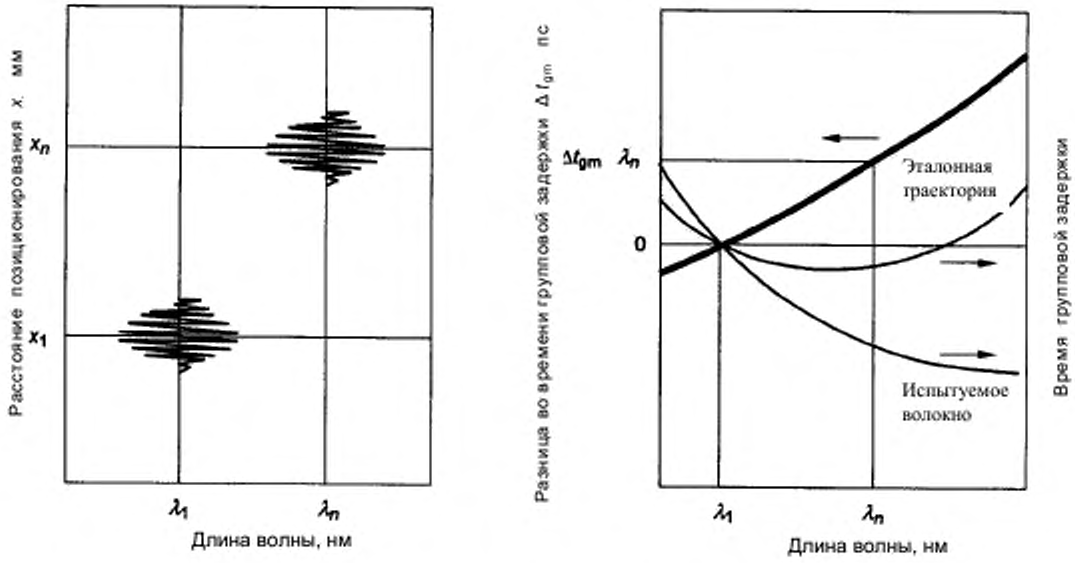

Рисунок D.3 – Примеры данных задержки

Приложение Е
(обязательное)

Подбор значений хроматической дисперсии

Е.1 Общие положения

Выходные значения, получаемые в результате измерения хроматической дисперсии, представляют собой либо непосредственно измеренные значения хроматической дисперсии, либо значения групповой задержки как функции длины волны. Значение хроматической дисперсии и крутизну дисперсии определяют из производных этих данных. Дифференцирование чаще всего проводят после подгонки данных к математической модели или типу аппроксимации.

В настоящем приложении приведено общее описание процедуры подбора значений хроматической дисперсии и представлены некоторые стандартные уравнения, используемые при математическом моделировании.

Примечание – Несмотря на то, что характеристики крутизны дисперсии могут не определяться нормативными требованиями, изготовители часто указывают типовые значения для облегчения аккомодации дисперсии.

Е.2 Определение уравнений и коэффициентов аппроксимации

В таблице Е.1 содержится общее описание аппроксимирующих математических моделей. Представление математической модели в виде полинома является общепринятым и может распространяться на полиномы высшего порядка на тех же принципах при условии сохранения стабильности аппроксимации (см. ниже).

В таблице Е.2 указаны соответствующие уравнения для крутизны дисперсии.

В таблице Е.3 указаны формулы для длины волны при нулевой дисперсии и крутизны для данной длины волны (крутизна при нулевой дисперсии) для моделей трехчлена Зеллмайера и полинома второго порядка).

Таблица Е.1 – Определение типа аппроксимации и коэффициенты аппроксимации; уравнения групповой задержки и коэффициент дисперсии

Тип аппроксимации	Групповая задержка $\tau(\lambda)$	Коэффициент дисперсии $D(\lambda)$
Трехчлен Зеллмайера	$A + B \times \lambda^{-2} + C \times \lambda^{-4}$	$2 \cdot B \times \lambda - 2 \times C \times \lambda^{-3}$
Пятичлен Зеллмайера	$A + B \times \lambda^{-2} + C \times \lambda^{-4} + D \times \times \lambda^{-6} + E \times \lambda^{-8}$	$2 \cdot B \times \lambda - 2 \times C \times \lambda^{-3} + 4 \times D \times \times \lambda^{-5} - 4 \times E \times \lambda^{-7}$
Полином второго порядка (квадратичный)	$A + B \times \lambda + C \times \lambda^{2}$	$B + 2 \times C \times \lambda$
Полином третьего порядка (кубический)	$A + B \times \lambda + C \times \lambda^{2} + D \times \lambda^{3}$	$B + 2 \times C \times \lambda + 3 \times D \times \lambda^{2}$
Полином четвертого порядка	$A + B \times \lambda + C \times \lambda^{2} + D \times \times \lambda^{3} + E \times \lambda^{4}$	$B + 2 \times C \times \lambda + 3 \times D \times \lambda^{2} + 4 \times \times E \times \lambda^{3}$

Таблица Е.2 – Уравнения крутизны

Тип аппроксимации	Крутизна дисперсии $S(\lambda)$
Трехчлен Зеллмайера	$2 \times B + 6 \times C \times \lambda^{-4}$
Пятичлен Зеллмайера	$2 \times B + 6 \times C \times \lambda^{-4} + 12 \times D \times \lambda^{-6} + 20 \times \times E \times \lambda^{-8}$
Полином второго порядка (квадратичный)	$2 \times C$
Полином третьего порядка (кубический)	$2 \times C + 6 \times D \times \lambda$
Полином четвертого порядка	$2 \times C + 6 \times D \times \lambda + 12 \times E \times \lambda^{2}$

Таблица Е.3 – Уравнения крутизны и длины волны при нулевой дисперсии

Тип аппроксимации	Длина волны при нулевой дисперсии λ_0	Крутизна при нулевой дисперсии S_0
Трехчлен Зеллмайера	$(C/B)^{1/4}$	$8B$
Полином второго порядка (квадратичный)	$-B/(2C)$	$2C$

Примечания

1 Для типа аппроксимации в виде трехчлена Зеллмайера альтернативная форма расчета коэффициента хроматической дисперсии представлена формулой

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4}\lambda\left(1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4}\right) \quad (Е.1)$$

2 Для полинома второго порядка (квадратичного) альтернативная форма расчета коэффициента хроматической дисперсии представлена формулой

$$D(\lambda) = S_0\,(\lambda - \lambda_0) \quad (Е.2)$$

Е.3 Процедура аппроксимации

Для надежной числовой аппроксимации естественная абсцисса (длины волн) должна быть преобразована в значения с уменьшенным диапазоном путем изменения координат до окончания определения регрессии методом наименьших квадратов. После нахождения регрессии параметры аппроксимации должны быть преобразованы обратно к виду первоначальной шкалы длин волн до окончания определения любой из производных.

Для решения проблемы аппроксимации следует выбирать соответствующее решение регрессии методом наименьших квадратов. Данный метод должен быть стабильным по отношению к шуму и другим погрешностям, вводимым во время измерения групповой задержки или данных дисперсии [1][1)]. В зависимости от источника входных данных используют уравнения для групповой задержки или производной дисперсии.

При аппроксимации должно быть использовано достаточное число точек. Когда порядок аппроксимации и число точек становятся сравнимыми, аппроксимация еще не позволяет достичь точных результатов.

Если аппроксимацию проводят для данных групповой задержки, данные хроматической дисперсии могут быть рассчитаны с помощью уравнений в таблице Е.1, при использовании коэффициентов, вычисленных при аппроксимации. Экстраполяцию для значений длин волн, лежащих за пределами диапазона аппроксимации, следует проводить осторожно, так как аппроксимация может иметь нефизическую природу в точках за пределами данного диапазона.

Крутизна дисперсии может быть рассчитана из уравнений в таблице Е.2 с использованием коэффициентов, вычисленных при аппроксимации.

[1)] Ссылочный документ см. в разделе Е.4.

Е.4 Ссылочный документ

[1] PRESS, William H. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computng*. Cambridge University Press, 2nd edition (1993).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60793-2	—	*
МЭК 60793-1-1:2002	—	*
МЭК 60793-1-41	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-41—2013 «Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания»

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

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.

УДК 681.7.068:006.354 ОКП 63 6570 Э59

Ключевые слова: волокна оптические, хроматическая дисперсия, методы измерений, испытательное оборудование, обработка результатов, расчеты

Подписано в печать 01.04.2014. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 3,30. Тираж 31 экз. Заказ 1093

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru