ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59088— 2020

Оптика и фотоника

ДАТЧИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ

Классификация

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2020 г. № 780-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2020

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Термины и определения 1
3 Классификация 3
Приложение А (справочное) Конфигурации волоконно-оптических датчиков 5
Приложение Б (справочное) Пояснения к классификации волоконно-оптических датчиков по назначению 7
Приложение В (справочное) Пояснения к классификации волоконно-оптических датчиков по принципу преобразования 12

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ДАТЧИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ

Классификация

Optics and Photonics. Fiber optical sensors. Classification

Дата введения — 2021—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на волоконно-оптические датчики (ВОД), применяемые для измерений физических величин (температуры, деформации, давления, расстояния, скорости и др.), используемые в различных отраслях экономики (машиностроение, судостроение, авиастроение, электроэнергетика, горнодобывающая отрасль, нефтяная и газовая отрасли, строительство и эксплуатация зданий и сооружений и др.), и устанавливает классификацию ВОД.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 **волоконно-оптический датчик;** ВОД: Небольшое по размерам устройство, в котором оптическое волокно использовано одновременно в качестве линии передачи данных и чувствительного элемента, способного детектировать изменения различных физических величин.

Примечание — В качестве чувствительного элемента может выступать само оптическое волокно или оптический (содержащий оптическую часть) элемент в его составе, в общем случае состоящий из подводящих волоконно-оптических кабелей и преобразователя сигналов. Конфигурации ВОД приведены в приложении А на рисунках А.1—А.3.

2.2 **оптическое волокно;** ОВ: Оптический волновод волоконно-оптической системы передачи, выполненный в виде нити из диэлектрических материалов с покрытием.

2.3 **внешний волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, в котором чувствительным элементом является само оптическое излучение, находящееся вне оптического волокна, по которому оно доставлено к месту измерений.

2.4 **встроенный волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, чувствительный элемент которого состоит из одного или нескольких оптических волокон, в которых одна или несколько характеристик, таких как интенсивность, фаза, поляризация, спектр, длина волны или время распространения оптического излучения, зависят от измеряемой величины.

Примечание — Существует множество встроенных ВОД, в которых чувствительным элементом является оболочка ОВ (например, химические ВОД) или взаимное расположение оболочки и сердцевины ОВ (например, ВОД изгиба). Такие датчики могут быть определены как встроенные ВОД непрямого действия. Встроенные ВОД прямого действия основаны на непосредственном воздействии на характеристики сердцевины ОВ (например, ВОД на основе рассеяния Мандельштама — Бриллюэна, Рамана, Рэлея).

2.5 **интегрирующий волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, обеспечивающий результат измерений величины в пространстве с помощью непрерывного чувствительного элемента определенной длины, площади или объема.

Издание официальное

Примечание — Измеряемая величина не является пространственно разрешенной, а интегрируется или суммируется по длине чувствительного элемента.

2.6 **интеррогатор (волоконно-оптический контроллер, анализатор сигналов волоконно-оптического датчика):** Устройство опроса волоконно-оптического датчика (вторичный преобразователь в измерительной системе на основе волоконно-оптического датчика), совмещающее в себе часть оптического интерфейса и сигнальный интерфейс.

2.7 **распределенный волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, обеспечивающий пространственно разрешенные измерения величины в протяженном объекте с помощью непрерывного чувствительного элемента по всей его длине (площади, объему).

2.8 **точечный волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, состоящий из одного дискретного чувствительного элемента, который генерирует сигнал, связанный со значением измеряемой величины.

2.9 **квазираспределенный волоконно-оптический датчик:** Волоконно-оптический датчик, состоящий из нескольких точечных волоконно-оптических датчиков, обеспечивающий пространственно разрешенные измерения величины в протяженном объекте в некоторой совокупности точек.

2.10 **оптический приемник:** Устройство, регистрирующее излучение, подверженное воздействию измеряемой величины, и преобразующее его по заранее заданному закону в другую величину, как правило, электрическую.

Примечание — Оптический приемник может быть оснащен одним или несколькими фотодетекторами, формирователями сигналов и интерфейсами связи.

2.11 **оптический источник:** Устройство, обеспечивающее подачу оптической энергии, необходимой для регистрации/индикации взаимодействия с измеряемой величиной.

Примечание — Оптический источник оснащен как минимум одним источником излучения и может содержать систему формирования сигнала. Если оптическая энергия воспроизводится физическим явлением, то оптический источник не требуется.

2.12 **пространственное разрешение:** Мера, характеризующая способность распределенного волоконно-оптического датчика различать пространственные признаки измеряемой величины.

Примечание — Разрешение измеряемой величины (например, температуры или деформации), пространственное разрешение, диапазон расстояний и время измерения взаимосвязаны. Дополнительное влияние на указанные характеристики оказывает обработка сигнала.

2.13 **оптический или имеющий оптическую часть чувствительный элемент:** Устройство, воспринимающее воздействие физической величины и преобразующее ее в изменение оптической величины по определенному закону.

2.14 **длина базы:** Длина, отмеченная на прямолинейной части измеряемого объекта, относительно которой измеряют удлинение.

Примечания

1 Данный показатель используют при механических испытаниях материалов.

2 Если ВОД закреплен в двух фиксированных точках на расстоянии *L* друг от друга, то длина базы равна *L*. Если ВОД длиной *l* непрерывно закреплен в или на измеряемом объекте длиной *L*, то фактическая длина базы зависит от способа крепления к измеряемому объекту и от механических параметров самого ВОД и окружающей среды; как правило, длина базы больше *l*, но короче *L*.

3 С целью достижения определенной длины базы рекомендуется учитывать способ, с помощью которого ВОД будет закреплен/прикреплен/встроен. В случае непрерывно закрепленного ВОД его фиксированная длина должна превышать определенную длину базы на несколько десятков диаметров ОВ для того, чтобы избежать проблем по краям ВОД, связанных с эффектом сдвигового запаздывания. В конкретном случае разрушения или трещины в пределах длины базы образца окончательную длину базы рассчитывают исходя из длины базы при разрушении путем вычитания из последней упругой части удлинения.

2.15 **оптический интерфейс:** Условное место в структурной схеме волоконно-оптического датчика, в котором оптическим путем определяется влияние измеряемой величины на чувствительный элемент.

Примечание — На выходе оптического интерфейса формируется первичный оптический сигнал для последующей обработки пользователем. Типичными характеристиками таких сигналов могут быть длина волны, со-

стояние поляризации, оптическая мощность и т. д. К более детальным техническим требованиям относят тип волоконно-оптического разъема, тип ОВ и т. д.

2.16 **сигнальный интерфейс:** Условное место в схеме волоконно-оптического датчика, в котором эффект измеряемой величины присутствует в форме, непосредственно используемой для целей контроля или измерений.

Примечание — Оптический(ие) интерфейс(ы) и сигнальный(ые) интерфейс(ы) в некоторых случаях могут совпадать.

2.17 **аналоговый сигнальный интерфейс:** Сигнальный интерфейс, обеспечивающий аналоговые выходные сигналы в форме, непосредственно используемой для целей управления или измерения, и, как правило, являющийся электрическим.

Примечание — Выходные сигналы должны соответствовать существующим стандартам на интерфейсы с аналогично существующими для электрических аналоговых сигналов. Выходные сигналы могут быть, например, от 4 до 20 мА, от 0 до 20 мА, от 0 до 5 В и т. д.

2.18 **коммуникационный интерфейс:** Цифровой интерфейс волоконно-оптического датчика, обеспечивающий цифровые выходные сигналы в форме, непосредственно используемой для целей контроля или измерения, или цифровую связь с другими устройствами.

2.19 **волоконная решетка Брэгга (волоконная брэгговская решетка);** ВБР: Участок одномодового оптического волокна, в сердцевине которого индуцирована периодическая структура показателя преломления, предназначенная для избирательного отражения оптического излучения в определенном диапазоне длин волн.

3 Классификация

3.1 ВОД классифицируют по следующим признакам:
- назначение;
- принцип преобразования;
- пространственное распределение;
- вид интерфейса.

3.2 Классификация ВОД по назначению приведена в таблице 1. Пояснения к классификации ВОД по назначению приведены в приложении Б.

Таблица 1

Категория	Вид	Примечание
Наличие/отсутствие объектов или явлений	Концевые выключатели. ВОД уровня. ВОД сближения. ВОД на основе эффекта фотопрерывания	См. Б.1 (приложение Б)
Тип измеряемого положения	ВОД линейного положения. ВОД углового положения. ВОД сближения. ВОД положения в пространстве. ВОД размеров	См. Б.2 (приложение Б)
Тип измеряемого изменения положения	ВОД линейной скорости. ВОД угловой скорости. ВОД угла поворота и скорости вращения. ВОД линейного ускорения. ВОД углового ускорения	См. Б.3 (приложение Б)
ВОД потока	—	См. Б.4 (приложение Б)
ВОД температуры	—	См. Б.5 (приложение Б)

Окончание таблицы 1

Категория	Вид	Примечание
Одномерные ВОД силы	Сейсмические ВОД. ВОД вибрации. ВОД крутящего момента. ВОД массы и веса	См. Б.6 (приложение Б)
Двумерные ВОД силы	Акустические ВОД (измерение изменяющегося во времени давления, вызванного акустическими волнами). ВОД давления (давление газов или жидкостей)	См. Б.7 (приложение Б)
ВОД деформации	—	См. Б.8 (приложение Б)
ВОД электромагнитных величин	ВОД магнитного поля. ВОД электрического тока. ВОД электрического поля. ВОД электрического напряжения. ВОД электромагнитного излучения	См. Б.9 (приложение Б)
ВОД ионизирующего и радиационного излучения	—	См. Б.10 (приложение Б)
ВОД других физических свойств материалов	ВОД показателя преломления среды. ВОД плотности среды. ВОД вязкости среды. ВОД ударной нагрузки	См. Б.11 (приложение Б)
ВОД химического состава и специальных химических величин	—	См. Б.12 (приложение Б)
ВОД частиц	ВОД количества частиц. ВОД атомного состава. ВОД мутности	См. Б.13 (приложение Б)

3.3 В зависимости от принципа преобразования ВОД подразделяют на ВОД, основанные:
- на активной генерации оптического излучения;
- атомно-полевом взаимодействии;
- модуляции когерентного оптического излучения;
- модуляции оптического излучения по интенсивности;
- спектральной модуляции оптического излучения;
- фазовой модуляции оптического излучения;
- модуляции оптического излучения по состоянию поляризации.

Пояснения к классификации ВОД по принципу преобразования приведены в приложении В.

3.4 В зависимости от пространственного распределения ВОД подразделяют:
- на точечные;
- квазираспределенные;
- интегрирующие;
- распределенные.

3.5 В зависимости от вида интерфейса ВОД подразделяют на ВОД:
- с сигнальным интерфейсом;
- аналоговым сигнальным интерфейсом;
- коммуникационным интерфейсом.

Приложение А
(справочное)

Конфигурации волоконно-оптических датчиков

На рисунке А.1 приведена конфигурация ВОД с пассивным чувствительным элементом и отдельными волоконными выводами для оптических входа и выхода.

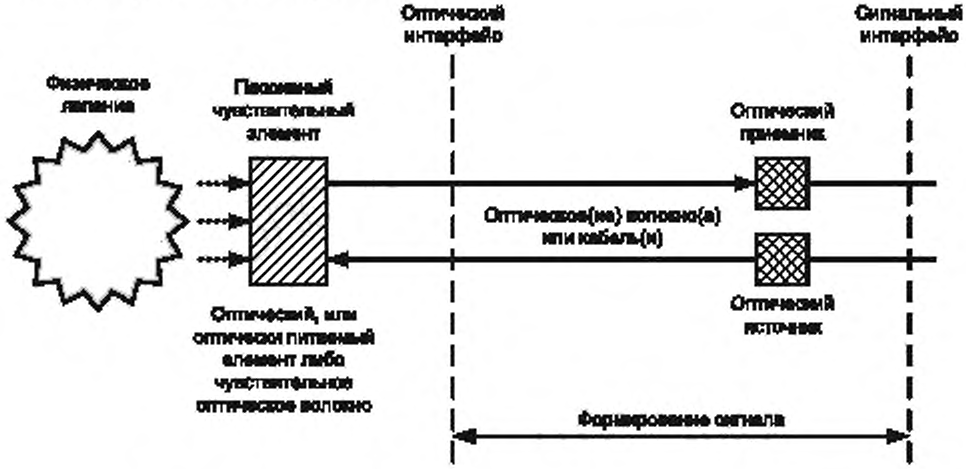

Рисунок А.1 — Конфигурация ВОД с пассивным чувствительным элементом и отдельными волоконными выводами для оптических входа и выхода

На рисунке А.2 приведена конфигурация ВОД с активным чувствительным элементом и одним волоконно-оптическим выводом для оптического выхода.

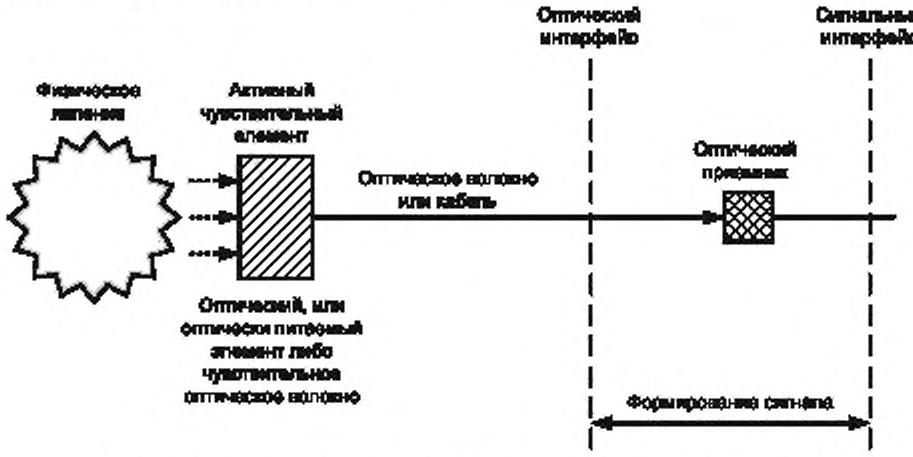

Рисунок А.2 — Конфигурация ВОД с активным чувствительным элементом и одним волоконно-оптическим выводом для оптического выхода

На рисунке А.3 приведена конфигурация ВОД с пассивным чувствительным элементом и одним волоконным выводом для оптических входа и выхода.

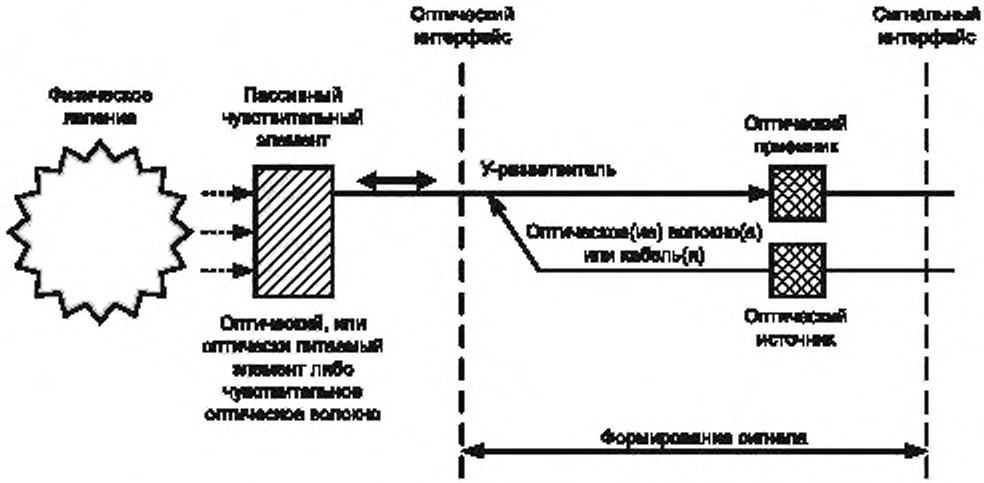

Рисунок А.3 — Конфигурация ВОД с пассивным чувствительным элементом и одним волоконным выводом для оптических входа и выхода

Приложение Б
(справочное)

Пояснения к классификации волоконно-оптических датчиков по назначению

Б.1 Волоконно-оптические датчики наличия/отсутствия объектов или явлений

Б.1.1 Концевые выключатели

Концевой выключатель распознает изменение величины после достижения ею заранее определенного значения. Функцией данного типа ВОД, как правило, является инициализация изменения какого-нибудь процесса после достижения контролируемой величиной заранее определенного значения. Примером такого ВОД может служить ВОД прерывания пучка света, осуществляемого механизмом линейного транслятора, проходящего через отражательную головку (внешний ВОД). Этот ВОД может открыть (или закрыть) ключ в цепи определенного процесса во избежание повреждения механизма перемещения транслятора. Данный тип ВОД также применяют для синхронизации или определения базовой точки для линейных или угловых систем перемещения.

Б.1.2 Волоконно-оптические датчики уровня

ВОД уровня определяет уровень жидкого или твердого сыпучего вещества, например ВОД уровня, работающий на основе френелевского отражения (внешний ВОД). Благодаря разности показателей преломления ОВ и воздуха от полированного торца ОВ возникает френелевское отражение 4 % мощности оптического излучения. Когда жидкость достигает указанного торца ОВ, процент отражаемого излучения сокращается из-за уменьшения разности показателей преломления на границе жидкость — ОВ. Данный тип ВОД может активировать сигнал тревоги, означающий превышение или падение уровня контролируемого вещества, активировать клапан для предотвращения повреждений или соответствующий процесс управления.

Б.1.3 Волоконно-оптические датчики сближения

В ВОД сближения использованы особенности излучения и отражения излучения в инфракрасной и видимой областях спектра, а также эффекты затухания мощности оптического излучения в результате приложенных на ВОД давления или вибрационных воздействий с целью детектирования сближения без необходимости прямого физического контакта. Данный тип ВОД может быть помещен, например, под ковровой дорожкой для определения количества людей на мероприятиях в целях обеспечения безопасности (внутренний ВОД).

Б.1.4 Волоконно-оптические датчики на основе эффекта фотопрерывания

ВОД на основе эффекта фотопрерывания — это устройство, излучающее оптическое излучение вдоль определенной границы, например дверного проема (внешний ВОД). Оптическое излучение регистрируется на другом конце контролируемой границы или отражается обратно к детектирующему элементу на стороне излучателя. Объект, прерывающий поток оптического излучения, спровоцирует срабатывание ВОД в виде сигнала тревоги. ВОД на основе эффекта фотопрерывания применяют для обеспечения безопасности работы различных механизмов, а также в системах учета и контроля доступа.

Б.2 Волоконно-оптические датчики положения

Б.2.1 Волоконно-оптические датчики линейного положения

ВОД линейного положения — это устройство, состоящее из набора ОВ, расположенных параллельно и определяющее положение детектируемого объекта, который прерывает или отражает оптическое излучение, поступающее в ОВ (внешний ВОД). Блок обработки информации такого ВОД фиксирует положение объекта в пределах определенного пространственного диапазона по относительным амплитудам сигнала от каждого из ОВ. Разрешающая способность определяемого положения детектируемого объекта зависит от расстояния между ОВ ВОД.

Б.2.2 Волоконно-оптические датчики углового положения

ВОД углового положения — устройство, состоящее из набора ОВ, расположенных по кругу и определяющее угловое положение детектируемого объекта, который прерывает или отражает оптическое излучение, поступающее в ОВ ВОД (внешний ВОД). Блок обработки информации такого ВОД фиксирует относительное угловое положение детектируемого объекта в пределах определенного пространственного диапазона по относительным амплитудам сигнала от каждого из ОВ. Разрешающая способность определяемого углового положения детектируемого объекта зависит от расстояния между ОВ ВОД.

Б.2.3 Волоконно-оптические датчики сближения

В ВОД сближения используют ОВ с внешним покрытием, толщина которого меняется вдоль длины ОВ по определенному закону (покрытие с перетяжками, сужениями), чувствительное к акустическим волнам (внутренний ВОД). Генерируемый в результате давления или вибрационных воздействий на ОВ акустический сигнал изменяет амплитуду проходящего по ОВ оптического сигнала из-за изменений геометрических размеров перетяжек (сужений) покрытия ОВ, в результате чего ВОД производит детектирование сближения без необходимости прямого физического контакта.

Б.2.4 Волоконно-оптические датчики положения в пространстве

ВОД положения в пространстве представляют собой наборы чувствительных элементов с соответствующими блоками обработки двумерных массивов данных. Принцип действия данного типа ВОД аналогичен принципу, используемому в ВОД линейного положения. Кроме того, для подобного типа ВОД могут быть использованы методы фазового детектирования.

Б.2.5 Волоконно-оптические датчики размеров

Размеры объекта могут быть измерены с помощью бесконтактных волоконно-оптических методов обнаружения краев детектируемого объекта. ВОД размеров — это устройство, состоящее из набора ОВ и производящее детектирование изменений отраженного или прошедшего оптического сигнала, поступающего в ОВ ВОД в определенной точке массива. Данный тип ВОД применяют в системах контроля в реальном времени, в которых требуется определять размеры объектов в процессе их сортировки.

Б.3 Волоконно-оптические датчики изменения положения

Б.3.1 Волоконно-оптические датчики линейной скорости

В ВОД линейной скорости используют методы, основанные на эффекте Доплера и фазового сдвига. Данными типами ВОД определяют относительную скорость объекта бесконтактным способом.

Б.3.2 Волоконно-оптические датчики угловой скорости

ВОД угловой скорости, как правило, применяют для определения скорости вращения колеса, шестерни или вала. В качестве данного типа ВОД используют ВОД на основе эффекта фотопрерывания (внешний ВОД).

Б.3.3 Волоконно-оптические датчики угла поворота и скорости вращения

ВОД угла поворота и скорости вращения представляют собой волоконно-оптические гироскопы, состоящие из катушки ОВ, в которой оптическое излучение одновременно распространяется в обоих направлениях — по и против часовой стрелки. Согласно эффекту Саньяка между волнами разных направлений возникает фазовая задержка при вращении катушки ОВ. Разность фаз регистрируемых сигналов пересчитывают в скорость вращения или в угол поворота.

Б.3.4 Волоконно-оптические датчики линейного ускорения

ВОД линейного ускорения представляют собой волоконно-оптические акселерометры, основанные на принципах интерферометрии. Волоконно-оптические акселерометры определяют ускорение косвенным методом, используя свойства растяжения и сжатия ОВ волоконно-оптического акселерометра (внутренний ВОД). ВОД линейного ускорения применяют для контроля параметров движения и обеспечения безопасности наземных и воздушных транспортных средств.

Б.3.5 Волоконно-оптические датчики углового ускорения

ВОД углового ускорения основаны на эффекте фотоупругости и методах измерений разности фаз. Данный тип ВОД применяют, например, в антиблокировочной тормозной системе на автомобилях для предотвращения заноса. Внезапное изменение скорости замедления может быть зафиксировано ВОД, который запустит соответствующую систему корректировки управления.

Б.4 Волоконно-оптические датчики потока

ВОД потока представляют собой волоконно-оптические турбинные расходомеры, измеряющие скорость потока или количество движущихся частиц. В волоконно-оптических турбинных расходомерах применяют ОВ, помещаемое в контролируемый поток, для определения скорости вращения лопасти турбины. Отклонение (изгиб) ОВ, получаемое за счет измеряемого воздушного потока, ставится в соответствие скорости этого потока.

Б.5 Волоконно-оптические датчики температуры

Точечные ВОД температуры, главным образом, представляют собой интеррогатор с ВБР, поглощающим черным телом, полостью с фосфоресцирующим покрытием, фильтром Фабри — Перо или термохромным ОВ. Одним из примеров ВОД температуры является пирометр на основе поглощающего черного тела, преобразующего воздействующую на него температуру среды в оптическое излучение с определенной длиной волны, пропорциональной температуре исследуемого объекта. Использование набора ВБР позволяет получить квазираспределенный ВОД.

В распределенных ВОД температуры использован принцип измерения температуры, основанный на эффекте комбинационного рассеяния света. Лазерное излучение непрерывно рассеивается в ОВ, и регистрируемое в каждый момент времени обратно рассеянное излучение применяется для вычисления температуры вдоль всего ОВ ВОД. Другой метод измерений температуры в ОВ ВОД основан на использовании эффекта рассеяния Мандельштама — Бриллюэна. Рассеяние Мандельштама — Бриллюэна также зависит от деформации ОВ, что следует учитывать при измерениях температуры данным методом. Использование ОВ ВОД малых длин с применением эффекта комбинационного рассеяния света совместно с методами оптической рефлектометрии в частотной области (optical frequency domain reflectometry, OFDR, или оптическая рефлектометрия частотной области) дает наилучшую пространственную разрешающую способность при измерениях температуры. При использовании ОВ ВОД средних длин оптимальным решением является применение эффекта комбинационного рассеяния света совместно с методами оптической рефлектометрии во временной области (optical time domain reflectometry, OTDR, или оптическая рефлектометрия временной области). При использовании ОВ ВОД больших длин оптимальным решением является применение рассеяния Мандельштама — Бриллюэна совместно с методами OTDR.

Б.6 Одномерные волоконно-оптические датчики силы

Б.6.1 Сейсмические волоконно-оптические датчики

В качестве сейсмических ВОД, как правило, используют ВОД деформации.

Б.6.2 Волоконно-оптические датчики вибрации

За счет электрической изоляции, помехозащищенности и небольшой массы ВОД применяют для контроля степени вибрации различных приборов или объектов. В ВОД вибрации использованы принципы измерения вибрации, основанные на применении эффекта Доплера, спектрального, амплитудного или фазового детектирования. В схеме ВОД на основе амплитудного детектирования могут быть применены ОВ с пьезоэлектрическим покрытием.

Б.6.3 Волоконно-оптические датчики крутящего момента

В качестве ВОД крутящего момента, как правило, используют ВОД деформации.

Б.6.4 Волоконно-оптические датчики массы и веса

В ВОД массы и веса использованы эффекты затухания мощности оптического излучения вследствие микроизгибов ОВ в результате приложенного к ВОД массы (веса) детектируемого объекта, который требуется определить (интегрирующий ВОД).

Б.7 Двумерные волоконно-оптические датчики силы

Б.7.1 Акустические волоконно-оптические датчики

В акустических ВОД использованы принципы измерения вибрации, основанные на применении методов волоконно-оптической интерферометрии. Воздействие акустической волны модулирует длину ОВ ВОД в одном из плеч интерферометра, что обусловливает модуляцию фазового сдвига оптического излучения в данном плече относительно ОВ опорного плеча интерферометра. Фазовая модуляция регистрируется методами гомо- и гетеродинирования для выделения измеряемого акустического сигнала. Как правило, акустические ВОД применяют в качестве гидрофонов для подводного обнаружения звуковых волн.

Б.7.2 Волоконно-оптические датчики давления

ВОД давления состоят из отражающей диафрагмы, причем одна из ее сторон контактирует со средой, давление которой требуется измерить (давление газа или жидкости в емкости). ОВ (или набор ОВ) подводит оптическое излучение к диафрагме, которая, физически деформируясь, детектирует измеряемое давление среды. Эта деформация, в свою очередь, приводит к изменению обратно отраженного излучения от конца ОВ, соединенного с оптическим приемником.

Также ВОД давления может состоять из одного ОВ, закрепленного между парой механических «челюстей» с пилообразными «зубами» в одном или нескольких местах. Давление, приложенное к «челюстям», может механически изогнуть ОВ настолько, что появятся потери в проходящем через него излучении, пропорциональные измеряемому давлению и регистрируемые приемником оптического излучения на конце ОВ.

Другим методом, на котором может быть основан ВОД давления, является применение поляриметрического сенсора на основе эффекта фотоупругости. Данный тип ВОД, как правило, применяют в качестве индикаторов перед дверным проемом.

ВОД давления могут быть основаны на ВБР. Конструкция самого ВОД давления воспринимает измеряемое давление и передает механическую деформацию на ВБР. Деформация смещает центральную длину волны отражения ВБР, которая может быть измерена с помощью интеррогатора.

Б.8 Волоконно-оптические датчики деформации

ВОД деформации регистрируют конечное приращение длины материала или компонента конструкции (длины базы), появляющееся в результате его сжатия или растяжения. ВОД деформации могут быть точечными, квазираспределенными или распределенными. ВОД деформации основаны на различных преобразовательных принципах в зависимости от собираемой ими информации:

- измерение интенсивности проходящего через ОВ излучения (микроизгибы ОВ);
- измерение фазы сигнала или его спектра (ВОД на основе интерферометров Фабри — Перо, ВОД на основе рассеяния Рэлея, ВБР);
- измерение времени пролета оптических импульсов (распределенные системы на основе методов OFDR и квазираспределенные системы на основе методов OTDR);
- измерение вариаций коэффициента поглощения (элементы, чувствительные к деформации, или химически чувствительные наборы элементов);
- использование эффектов поляриметрии в ОВ (элементы, чувствительные к изгибу или давлению);
- измерения параметров нелинейных оптических эффектов в ОВ (рассеяния Мандельштама — Бриллюэна и комбинационного рассеяния света).

Как правило, применяют волоконно-оптический чувствительный элемент на основе ВБР, сформированной внутри ОВ и встроенной внутрь или закрепленной на поверхности контролируемого объекта. Измеряют длину волны отражения ВБР в зависимости от приложенной деформации. На коэффициент преобразования деформации в изменение длины волны влияет коэффициент фотоупругости используемого ОВ. При этом ВБР чувствительна к температурным изменениям, которые должны быть учтены. ВБР прикрепляют к поверхности элементов конструкции или встраивают в гомогенные или многослойные материалы, например для определения степени усталости конструкции. ВОД деформации на основе ВБР работают на частотах до сотен килогерц.

Высокоточные измерения деформации осуществляют с использованием интерферометрических чувствительных элементов, например интерферометры Фабри — Перо или Майкельсона. ВОД деформации на основе интерферометров также работают на частотах до сотен килогерц.

При необходимости измерений деформации в эластичных или отверждающихся материалах (эпоксидная резина, цементная и бетонная смесь) жесткость ВОД деформации не должна инициировать деформацию измеряемой зоны. В таких случаях используют специальную конструкцию гибкого интерферометра Фабри — Перо.

ВОД деформации на основе измерений интенсивности излучения оптических источников в ОВ, как правило, используют для квазистатических или динамических измерений деформации вследствие большой вероятности потери контрольной опорной точки измерений (так называемой «нулевой точки», которая важна при долговременных измерениях величин).

Методы сканирования на основе спонтанного или вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна чувствительны к деформации и температуре. Лазерный импульс, запущенный в ОВ, и сдвиг частоты обратно рассеянного излучения, обусловленный спонтанным или вынужденным рассеянием Мандельштама — Бриллюэна, регистрируется как функция температуры или деформации. Вследствие более высокой чувствительности к деформации данный тип ВОД, как правило, используют для измерений деформации на больших расстояниях. Чувствительность ВОД к температуре может быть использована для совместных измерений температуры и деформации и должна быть учтена при измерениях деформации.

Интеррогаторы, основанные на методах интерферометрии, чувствительны к температуре и деформации. Перестраиваемые по длине волны лазерные источники интеррогаторов могут быть использованы для измерений фазового сдвига между обратным рассеянием Рэлея в опорном и измерительном каналах как функции длины в стандартном ОВ телекоммуникационной сети. Как и в случае ВБР, спектральный отклик тестируемого ОВ сдвигается пропорционально приложенным к нему температуре и деформации. ОВ прикрепляют к поверхности или встраивают внутрь сплошного или многослойного материала. Использование рассеяния Рэлея вместе с методом OFDR обеспечивает миллиметровую пространственную разрешающую способность измерений длины в диапазоне от десятков до сотен метров.

Б.9 Волоконно-оптические датчики электромагнитных величин

Б.9.1 Волоконно-оптические датчики магнитного поля

Для измерений параметров магнитного поля применяют ВОД на основе нескольких физических эффектов, например: эффект Фарадея, заключающийся в наведенном двулучепреломлении для составляющих световой волны с круговым состоянием поляризации при приложении к среде магнитного поля и, как правило, описываемый как вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света. Для применения указанного эффекта в ВОД магнитного поля, как правило, применяют поляриметрические и интерферометрические методы.

Косвенным методом измерений магнитного поля с помощью ВОД является эффект магнитострикции в тех материалах, к которым прикреплено ОВ. Аналогично электрооптическому эффекту спровоцированные магнитным полем изменения параметров распространения оптического излучения в деформированном ОВ могут быть зарегистрированы, как правило, интерферометрическими методами.

Б.9.2 Волоконно-оптические датчики электрического тока

ВОД электрического тока основаны на эффекте Фарадея. Альтернативный метод — использование эффекта магнитострикции: в основе данного типа ВОД лежат интерферометрические (фазовые) или поляриметрические методы. Преимуществами данного типа ВОД являются небольшая масса, электрическая изоляция и отсутствие прямого соединения с электрическим проводником. ВОД электрического тока применяют в системах безопасности контроля уровня электрического тока в высоковольтных линиях электропередачи.

Б.9.3 Волоконно-оптические датчики электрического поля

В ОВ отсутствуют линейные электрооптические эффекты и присутствуют слабовыраженный квадратичный эффект Керра и эффекты высших порядков.

ВОД электрического поля прямого метода измерений основаны на эффекте Поккельса в кристаллах. Это эффект возникновения двулучепреломления в оптической среде при воздействии на нее электрического поля, которое может быть зарегистрировано с помощью интерферометрических и поляриметрических методов.

Косвенные методы измерений электрического поля с помощью ВОД основаны на использовании пьезоэлектрического эффекта с целью деформирования ОВ ВОД пьезоэлектрическим материалом. Деформация ОВ обусловливает изменение параметров распространения излучения в нем, которое может быть зарегистрировано интерферометрическими методами.

Б.9.4 Волоконно-оптические датчики электрического напряжения

ВОД электрического напряжения основаны на эффекте Поккельса с использованием электрооптического кристалла с электродами на противоположных гранях.

Электроды могут быть прикреплены к концам образца пьезоэлектрического материала для создания ВОД напряжения, определяющего электрическое напряжение косвенным методом. В такой конфигурации деформация, возникающая в пьезоэлектрике вследствие приложенного напряжения, может быть измерена с помощью интерферометрических методов или ВБР.

Б.9.5 Волоконно-оптические датчики электромагнитного излучения

ВОД электромагнитного излучения основаны на использовании деформации ОВ, возникающей из-за нагрева его оболочки, чувствительной к излучению микроволнового диапазона. Также для анализа спектра излучения могут быть использованы волоконно-оптические резонаторы и интерферометры.

Б.10 Волоконно-оптические датчики ионизирующего и радиационного излучения

Высокоэнергетическое электромагнитное излучение может индуцировать флуоресценцию и оптические потери в стекле и других материалах. Наведенные потери связывают с определенным известным типом дефекта под названием «центр цвета», который поглощает оптическое излучение определенного диапазона в видимой и ближней инфракрасной области спектра. До некоторой степени эти потери временные. В других случаях они постоянны, таким образом обеспечивая возможность создания ВОД суммарной дозы радиации.

Б.11 Волоконно-оптические датчики других физических свойств материалов

Б.11.1 Волоконно-оптические датчики показателя преломления материалов

Как правило, принцип действия ВОД показателя преломления основан на размещении между двумя отрезками ОВ миниатюрного интерферометра Фабри — Перо, через который протекает исследуемая жидкость.

Б.11.2 Волоконно-оптические датчики плотности среды

Плотность твердых сред определяют по доле оптического излучения, проходящего или отраженного от измеряемой поверхности. Таким образом, ВОД плотности основан на простых методах измерений интенсивности оптического излучения.

Б.11.3 Волоконно-оптические датчики вязкости среды

Вязкость среды является показателем сопротивления потоку жидкости. Напряжение сдвига в направлении потока жидкости может быть определено с помощью свойств ОВ, зависящих от деформации, или более простым способом — через определение показателя преломления или коэффициента отражения жидкости.

Б.11.4 Волоконно-оптические датчики ударной нагрузки

ВОД ударной нагрузки основан на эффекте затухания мощности оптического излучения в результате нагрузки, приложенной на ОВ ВОД. Для решения задач поиска положения нагрузки вдоль ОВ используют методы OTDR.

Б.12 Волоконно-оптические датчики химического состава и специальных химических величин

Химическое присутствие/детектирование, определение концентрации и идентификация являются некоторыми примерами применения ВОД химического состава и специальных химических величин. Простым примером таких ВОД может служить ОВ, помещенное в исследуемую среду и имеющее на одном из своих торцов покрытие, содержащее флуоресцентный материал. Излучение флуоресценции может быть вызвано оптическим излучением, распространяющимся по ОВ, или от внешнего источника. Часть флуоресцентного излучения по ОВ распространяется на другой конец, где находится приемник излучения. Если флуоресценция материала угасает, например из-за изменения кислотности окружающего ВОД исследуемой среды (при измерении концентрации ионов H+, известных как pH), то ВОД с таким принципом действия будет работать в качестве индикатора pH.

Б.13 Волоконно-оптические датчики частиц

Б.13.1 Волоконно-оптические датчики количества частиц

В качестве ВОД количества частиц, как правило, используют ВОД фотопрерывания.

Б.13.2 Волоконно-оптические датчики атомного состава

Для решения задач определения атомного состава могут быть использованы ВОД электромагнитного излучения в сочетании с ВОД химического состава и специальных химических величин.

Б.13.3 Волоконно-оптические датчики мутности

Мутность среды определяют методами измерений интенсивности отраженного от исследуемой жидкости оптического излучения. Интенсивность отраженного оптического излучения в соответствующих информационно-измерительных системах на основе ВОД изменяется при изменении мутности жидкости.

Приложение В
(справочное)

Пояснения к классификации волоконно-оптических датчиков по принципу преобразования

Принцип преобразования основан на зависимости оптических характеристик излучения от измеряемой величины. Данную зависимость можно описать с помощью передаточной функции от измеряемого параметра к передаваемому оптическому излучению.

В.1 Волоконно-оптические датчики, основанные на активной генерации оптического излучения

Измеряемый параметр непосредственно является причиной возникновения оптической энергии, характеристики которой можно анализировать для его определения. Примеры активной генерации оптического излучения — излучение абсолютно черного тела и излучение Черенкова.

В.2 Волоконно-оптические датчики, основанные на атомно-полевом взаимодействии

Для измерений требуемой величины используют ВОД-излучатель на определенной длине(ах) волн оптического излучения. При этом свойства исследуемого материала определенным образом влияют на излучение ВОД, изменения параметров которого, в свою очередь, регистрируются на соответствующей(их) длине(ах) волн. Примером атомно-полевого взаимодействия являются спектральное поглощение, флуоресценция и эффект Доплера.

В.3 Волоконно-оптические датчики, основанные на модуляции когерентного оптического излучения

Для определения измеряемого параметра в ВОД могут быть использованы интерферометрические методы с применением широкополосных источников излучения и модуляции когерентного оптического излучения. Модуляцию когерентного оптического излучения, как правило, используют для получения высокого пространственного разрешения. Примером таких ВОД являются некоторые интерферометры белого света.

В.4 Волоконно-оптические датчики, основанные на модуляции оптического излучения по интенсивности

ВОД, основанные на модуляции по интенсивности, имеют передаточную функцию, выходным параметром которой является интенсивность оптического излучения. Пример модуляции по интенсивности — ослабление оптического излучения в результате соединения волоконно-оптических коннекторов, микроизгибов и эффектов рассеяния.

В.5 Волоконно-оптические датчики, основанные на спектральной модуляции оптического излучения

В ВОД может быть использована спектральная модуляция. Примером спектральной модуляции являются рассеяние Мандельштама — Бриллюэна, флуоресценция, широкополосная интерферометрия, эффект Доплера и дифракция Брэгга.

В.6 Волоконно-оптические датчики, основанные на фазовой модуляции оптического излучения

В ВОД может быть использована фазовая модуляция в сочетании с интерферометрическими методами для определения различных измеряемых параметров. Электро- или магнитострикционные покрытия, акустические воздействия, эффект Саньяка, эффект Фарадея могут быть применены в ВОД, работающих на основе фазовой модуляции.

В.7 Волоконно-оптические датчики, основанные на модуляции оптического излучения по состоянию поляризации

В ВОД может быть использована зависимость состояния поляризации оптического излучения от измеряемого параметра. Примерами модуляции оптического излучения по состоянию поляризации являются пьезооптический эффект и оптическая активность.

УДК 681.586.5:006.354 ОКС 17.020

Ключевые слова: оптика и фотоника, волоконно-оптические датчики, классификация

БЗ 11—2020

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *М.В. Лебедевой*

Сдано в набор 09.10.2020. Подписано в печать 14.10.2020. Формат 60×84¼. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32 Уч.-изд. л. 1,90.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru