

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И СИСТЕМЫ: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ, ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ



А. Н. СОКОЛОВ, ген. директор компании «Оптолекс»

В. А. ЯЦЕЕВ, тех. директор компании «Оптолекс»

В статье рассмотрены основные типы волоконно-оптических датчиков, проведена их сравнительная характеристика и содержится взгляд авторов на перспективы их развития и применения в промышленности.

Введение

Современная промышленность немыслима без автоматизированных систем управления. Сложные конструкции и механизмы требуют постоянного контроля различных параметров протекающих процессов. Мониторинг состояния сложных инженерных сооружений и промышленных систем является неотъемлемой частью их повседневной эксплуатации. Для осуществления подобного контроля требуются датчики и системы контроля различных физических величин, таких как температура, механические деформации, давление и т.д.

Обзор текущей ситуации в отрасли

В настоящее время на рынке измерительных систем и датчиков доминирующее положение продолжают занимать электронные измерительные технологии, которые предполагают преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал и последующую его обработку. Альтернативой подобному подходу является использование волоконно-оптических систем измерения, где измеряемый параметр преобразуется в оптический сигнал, передающийся по оптоволокну. Несмотря на стабильный рост рынка оптоволоконных датчиков (по данным маркетингового агентства Frost&Sullivan: 2,5 млрд. долларов в 2004 году с ежегодным приростом 11% по всем отраслям промышленности) и очевидные преимущества над элект-

ронными технологиями (взрывобезопасность, невосприимчивость к электромагнитным помехам и высокую разрешающую способность) относительная доля оптоволоконных датчиков в общем рынке измерительных систем остается небольшой. По сути, оптоволоконные датчики занимают лишь нишевые приложения там, где традиционные измерительные средства не могут быть использованы или их применение является затратным.

Стоит отметить две тенденции в настоящее время. Во-первых, бурное развитие смежных технологий: волоконно-оптической передачи информации, приема и обработки изображений с помощью цифровой фото- и видеоаппаратуры, микропроцессорной техники – что способствует развитию оптоволоконной измерительной техники и удешевлению технологии изготовления. Во-вторых, промышленность и регулирующие органы предъявляют все более жесткие требования к условиям эксплуатации, а именно, требования на помехозащищенность, безопасность измерений, точность и пр.

Именно этим критериям удовлетворяют оптоволоконные датчики. Как видно, эти две тенденции могут привести к ситуации, когда

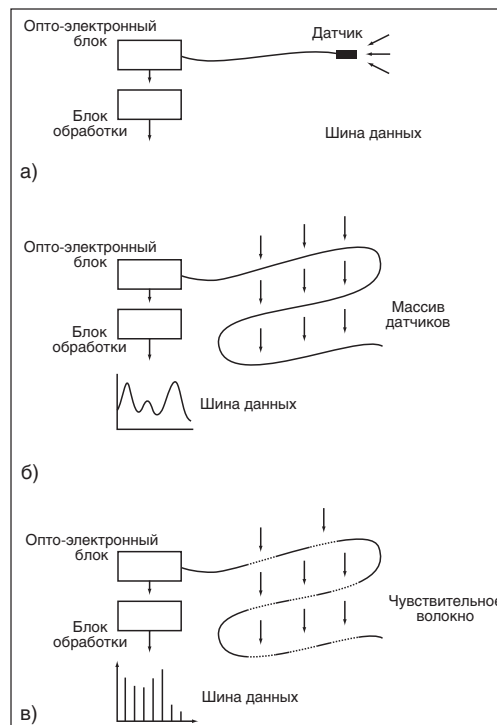


Рис. 1. Типы волоконно-оптических датчиков.
 а) точечный, б) квазираспределенный, в) распределенный

оптоволоконные измерительные системы составят конкуренцию традиционным электронным системам. Причем не только по ра-

Таблица 1

Типы волоконно-оптических датчиков:
а) точечный; б) распределенный; в) квазираспределенный

Название технологии	Принципы действия	Преимущества	Недостатки	Перспективы коммерциализации
Фазовая (с когерентным источником излучения)	На основе интерферометров Фабри-Перо, Маха-Цандера, Майкельсона, на решетке Брэгга	Чрезвычайно высокая точность	Чувствительность к флуктуациям входного излучения, возможность только относительных измерений, необходимость использования фазокомпенсирующих элементов, сложность в изготовлении	Недостатки, основным из которых является чувствительность к флуктуациям входного излучения, не позволяют наладить массовое производство за исключением волоконных гироскопов
Амплитудная	Прямое и обратное рассеяние	Просты в изготовлении, дешевы	Чувствительность к флуктуациям входного излучения, возможность только относительных измерений, низкая точность	Недостатки, основным из которых является чувствительность к флуктуациям и малая точность измерений, не позволяют наладить массовое производство
Туннельная	Туннелирование света через малый зазор	Чрезвычайно высокая чувствительность	Малый диапазон измерений, необходимость точной юстировки, чувствительность к флуктуациям входного излучения, возможность только относительных измерений	Недостатки не позволяют полноценно коммерциализовать данный вид датчиков
Поляризационная	Изменение состояния поляризации	Высокая точность	Необходимость использования дорогого волокна с сохранением поляризации	Высокая себестоимость и сложность изготовления не позволяют широко коммерциализовать технологию
Спектральное кодирование (с широкополосным источником излучения)	на основе внутриволоконной решетки Брэгга	Возможность мультиплексирования большого числа каналов, возможность проведения абсолютных измерений	Средняя точность, сложная система обработки сигналов	Технология отлажена, осуществляется производство небольших партий датчиков
	на основе интерферометра Фабри-Перо	Высокая точность, обеспечение абсолютных измерений, нечувствительность к флуктуациям входного излучения, нет необходимости в многократной юстировке	Сложная схема обработки оптического сигнала	После ряда процедур по подготовке к производству возможен промышленный выпуск
	на основе интерферометров Маха-Цандера, Майкельсона	При использовании технологии интегральной оптики сами чувствительные элементы технологичны, просты в производстве и достаточно дешевы	Средняя точность, сложная система обработки сигналов, трудности со стыковкой с оптоволоконном при использовании интегральной оптики	Коммерциализация затруднена вследствие различных технологических проблем

бочим характеристикам, но и по стоимости канала измерения.

Основные типы

Оптоволоконных датчиков

Оптоволоконные датчики, исходя из принципа кодирования измеряемой информации, можно условно разделить на следующие большие группы:

- фазовые – датчики, в которых используется высококогерентный источник излучения и производится измерение фазы световой волны, изменяющейся под влиянием внешнего параметра;
- со спектральным кодированием – датчики, где, в отличие от чисто фазовых, используется источник излучения с широким спектром с возможностью анализа всего спектра;
- амплитудные – датчики, в которых измеряемый параметр модулирует интенсивность проходящей или отраженной световой волны;
- туннельные – датчики, где используется эффект туннелирования излучения через малый зазор.
- поляризационные – датчики, использующие информацию о поляризации световой волны;

Стоит отметить, что это не единственный способ классификации оптоволоконных датчиков. Можно провести классификацию по принципу действия:

- интерференционные (Майкельсона, Фабри-Перо, Маха-Цандера и т.д.)
- распределенные (обратное и прямое рассеяние)
- люминесцентные
- на внутриволоконных решетках
- комбинированные

Также можно классифицировать датчики по локализации измеряемого параметра:

- точечные
- распределенные
- квази-распределенные

В настоящей статье мы будем пользоваться первым способом классификации, т.к. он позволяет более четко показать достоинства и недостатки конкретной оптоволоконной технологии измерения.

Выше приведена сравнительная таблица оптоволоконных технологий с различными видами кодирования измеряемого параметра.

Промежуточные выводы

- Фазовые датчики, использующие лазерные источники света, являются достаточно распространенными, но скорее в лабораторных установках, чем в промышленности. Это связано с необходимостью точной юстировки приборов, наличием дополнительных фазоподстроечных схем, что сильно усложняет конструкцию. Кроме того, подобные датчики не позволяют проводить абсолютные измерения величин. Для избавления от этих недостатков используют несколько частот оптического излучения, что делает этот метод промежуточным видом измерения между фазовым и спектральным, представленным ниже.

- Датчики со спектральным кодированием наиболее перспективны с точки зрения внедрения их в промышленность благодаря устойчивости к влиянию различных паразитных параметров: дрейфа мощности излучения источника, неконтролируемых потерь мощности в волокне, потерь при стыковке волокна с помощью коннекторов и пр. Кроме того, датчики этого типа позволяют проводить измерения абсолютных, а не относительных величин и не требуют перекалибровки после включения/выключения прибора. До недавнего времени этот метод измерения считался очень сложным и дорогим. Он требовал наличия спектрометра и средств обработки оптического изображения, но, как было упомянуто выше, ситуация меняется и благодаря удешевлению методов обработки оптического спектра, развитию микропроцессорной техники и техноло-

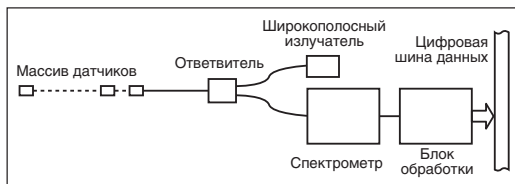


Рис. 2. Типовой волоконно-оптический датчик (массив датчиков) со спектральным кодированием

гии приема оптического изображения, удешевлению оптоэлектронных компонент цена канала измерения по себестоимости приближается к электронным аналогам.

- Амплитудные датчики имеют свою область применения, обусловленную их дешевизной, и могут использоваться там, где не требуется высокая точность измерений (например в качестве счетчиков оборотов, микрофонов, распределенных датчиков температуры и пр.). Однако в высокоточных измерительных системах они не находят широкого приложения, ввиду сравнительно низкой точности и подверженности к дрейфу параметров.
- Туннельные датчики являются высокочувствительными приборами, однако тоже подвержены дрейфу параметров и могут найти лишь ограниченное применение, например, в высокоточных устройствах позиционирования, микрофонах, гидрофонах и др.
- Поляризационные датчики являются, по сути, аналогами интерференционных датчиков. Их коммерциализации, в основном, мешает необходимость использования дорогого волокна с сохранением поляризации.

Датчики со спектральным кодированием

Типовая схема построения оптоволоконной измерительной системы с использова-

нием датчиков со спектральным кодированием представлена на рис. 2.

Основная проблема построения подобных систем заключена в создании простого, надежного и недорогого спектрометра, неподверженного влиянию вибрации, температуры и прочих внешних и внутренних параметров. Надо признать, что до конца эта проб-

лема не решена. Предлагаемые методы с использованием дифракционных решеток, сканирующих интерферометров, пьезоэлектриков, перестраиваемых лазеров и пр. либо не решают до конца проблему кратковременной и долговременной стабильности характеристик, либо цена такого интерферометра не позволяет говорить о его широ-



Рис. 3. Оптоволоконный датчик давления

ком применении. Стоит отметить, что несмотря на сложности задача принципиально решается, и через некоторое время ожидается появление датчиков и систем, способных конкурировать с традиционными электрическими датчиками и системами по соотношению цена/качество.

Рынок и производители

В настоящее время рынок волоконно-оптических датчиков только начинает развиваться, однако интерес к нему растет

чрезвычайно быстро. Выпускаемая продукция востребована в аэрокосмической и нефтегазовой отрасли. Активно внедряет и инвестирует в волоконно-оптические измерительные системы военно-промышленный комплекс (особенно в США и Западной Европе).

Стоит отметить таких производителей как:

- Fiso (Канада), датчики температуры, давления и усилия со спектральным кодированием на основе интерферометра Фабри-Перо
- AOS (Германия), датчики для вибрационного контроля, контроля температуры и напряжений со спектральным кодированием на основе внутриволоконных решеток Брэгга
- Компания «Бизнес-Юнитек» (Россия), разработка и внедрение брэгговских волоконно-оптических датчиков и систем для контроля температуры и деформации.

- Компания «Оптолекс» (Optolex) совместно с компанией «Овен» (Россия), датчики давления со спектральным кодированием на основе интерферометра Фабри-Перо
- и т.д. (раздел будет доработан)

Заключение

В настоящее время качественные изменения в области оптоволоконных измерительных систем должны трансформироваться в конкретные датчики и системы, востребованные на рынке. Время создания общепромышленных оптоволоконных датчиков и систем, не только ни в чем не уступающих, но и превосходящих традиционные датчики и системы пришло. Но конечным арбитром, безусловно, будут время и потребитель. Компания «Оптолекс» базируется в Научном парке МГУ и создана при поддержке компании «Овен», ведущего российского разработчика и производителя микропроцессорных контрольно-измерительных приборов и датчиков.