

2. Drill pipes: without the right to rupture / S. I. Bilan, A. P. Bykov, A. V. Emelyanov // *Drilling and oil*. - 2010. - N 9. - S. 38-39.
3. The catalog of pipes and services for pipe products of the company DRILCO.
4. <http://www.tubular.nssmc.com/ru/product-services/octg/connection/list>
5. Product catalog of the company NOV® GrantPrideco.
6. Investigation of the influence of structural elements of double-shoulder tool joints of drill pipes on their stress-strain state / V.I. Artym, O.Ya. Faflei, R. O. Deineha, V.V. Mykhailuk // *Exploration and development of oil and gas deposits*. - 2017. - No. 4 (65). - P. 77-87.
7. Analysis of modern designs of drill collars tool joints / V.I. Artym, O.Ya. Faflei, R. O. Deineha, V.V. Mykhailuk // *Petroleum engineering*. – 2017. – No. 2(28). – S. 22-30.
8. Artym V.I., Faflei O.Ya., Mykhailuk V.V., Deineha R.O. Investigation of the stress-strain state of double-shoulder tool joints of drill pipes. *Young scientist*. - 2017. - No.11 (51). - P. 1043-1047
9. Lachinjan Leonid Artem'evich, Lachinjan Natal'ja Leonidovna. Patent of RF 2521123. Drill pipes tool joint. <http://www.freepatent.ru/patents/2521123>
10. Patent No. 2934937.
11. <http://help.solidworks.com>
12. Baryshnikov A.I. Improving the strength and durability of tool joints of the drill string. - The dissertation of Doctor of Engineering. M., 1998

*Научный руководитель: Колмаков Виталий Олегович.*

*Авторы:*

*Халецкий Владислав Николаевич,*

*Иргит Айбек Валерьевич,*

*Крайнев Никита Сергеевич.*

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Волоконно-оптические датчики позволяют измерять многие характеристики лабораторных и промышленных объектов, в частности температуру. Не смотря на то, что их использование достаточно трудоемко, оно дает ряд преимуществ, использования подобных датчиков на практике: безиндукционность (т.е. неподверженность влиянию электромагнитной индукции); малые размеры датчиков, эластичность, механическая прочность, высокая коррозионная стойкость и т.д.

Для измерения температуры с помощью световодов, изготовленных из кварцевого стекла, особенно подходит так называемый эффект Рамана. Свет в стеклянном волокне рассеивается на микроскопически малых колебаниях плотности, размер которых меньше длины волны. В обратном рассеивании можно найти, наряду с эластичной долей рассеивания (излучаемое рассеивание) на одинаковой длине волны, как проникший свет, так и дополнительные компоненты на других длинах волны, которые связаны с колебанием молекул и, тем самым с локальной температурой (комбинационное Рамановское рассеяние).

Волоконно-оптические датчики (так же часто именующиеся оптические волоконные датчики) это оптоволоконные устройства для детектирования некоторых величин, обычно температуры или механического напряжения, но иногда так же смещения, вибраций, давления, ускорения, вращения (измеряется с помощью оптических гироскопов на основе эффекте Саньяка), и концентрации химических веществ. Общий принцип таких устройств в том, что свет от лазера (чаще всего одномодового волоконного лазера) или суперлюминесцентного оптического источника передается через оптическое волокно, испытывая

слабое изменение своих параметров в волокне или в одной или нескольких брэгговских решетках, и затем достигает схемы детектирования, которая оценивает эти изменения.

В сравнении с другими типами датчиков, волоконно-оптические датчики обладают следующими преимуществами:

Они состоят из электрически непроводящих материалов (не требуют электрических кабелей), что позволяет использовать их, например, в местах с высоким напряжением.

Их можно безопасно использовать во взрывоопасной среде, потому, что нет риска возникновения электрической искры, даже в случае поломки. Они не подвержены электромагнитным помехам (EMI), даже вблизи разряда молнии, и сами по себе не электризуют другие устройства. Их материалы могут быть химически инертны, то есть не загрязняют окружающую среду, и не подвержены коррозии. Они имеют очень широкий диапазон рабочих температур (гораздо больше, чем у электронных устройств). Они имеют возможность мультиплексирования; несколько датчиков в одиночной волоконной линии может быть интегрировано с одним оптическим источником.

Сенсоры на основе брэгговских решеток

Волоконно-оптические датчики зачастую основаны на волоконных брэгговских решетках. Основной принцип многих волоконно-оптических датчиков в том, что брэгговская длина волны (т.е. длина волны максимального отражения) в решетке зависит не только от периода брэгговской решетки, но также от температуры и механических напряжений. Для кварцевых волокон изменение брэгговской длины волны на единицу деформации примерно на 20% меньше, чем растяжение, так как

есть влияние деформации на уменьшение показателя преломления. Температурные эффекты близки к ожидаемым только при тепловом расширении. Температурные и деформационные эффекты могут различаться при использовании различных технических средств (например, при использовании эталонной решетки, которая не подвержена деформации, или применении различных типов волоконных решеток) так, что оба значения регистрируются одновременно. Для регистрации только деформации, разрешающая способность достигает нескольких  $\mu\text{e}$  (т.е. относительное изменение длин порядка) при этом точность имеет тот же порядок малости. Для динамических измерений (например, акустический явлений), достигается чувствительность большая чем 1  $\mu\text{e}$  в 1 Hz полосы пропускания.

Распределенное зондирование. Другие оптоволоконные датчики не используют волоконные брэгговские решетки как сенсоры, используя в качестве сенсоров само волокно. Принцип зондирования в них основан на эффекте Рэлеевского рассеяния, Рамановского рассеяния или рассеяния Бриллюэна. Например, метод оптической рефлектометрии временной области, где положение области со слабым отражением может быть определено с использованием импульсного зондирующего сигнала. Этот метод используется также для определения других величин, например температуры или напряжения в зависимости от сдвига частоты Бриллюэна.

В некоторых случаях, измеряемая величина является средним значением по всей длине волокна. Этот метод характерен для некоторых температурных датчиков, а также для интерферометров, основанных на эффекте Саньяка, применяемых в качестве гироскопов. В других случаях измеряются позиционно-зависимые величины (например, температура или напряжение). Это называется распределенным зондированием.

#### Квази-распределенное зондирование

Определенные волокна могут содержать серию решеток сенсоров для мониторинга температуры и распределения деформации по всему волокну. Это называется квази-распределенным зондированием. Существуют различные технические решения для адресации только к одной решетке (и таким образом точного определения положения вдоль волокна)

В одном способе, называемом мультиплексирование с разделением по всей длине волны (WDM), или оптической рефлектометрии в частотной области спектра (OFDR), решетки имеют немного различающуюся брэгговскую длину волны. Длина волны перестраиваемого лазера в блоке интегрирования может быть настроена на длину волны, принадлежащую к определенному типу решетки, а длина волны максимального отражения указывает на влияние деформации или, например температуры. Кроме того

широкополосные источники света источники света (например суперлюминесцентные источники) могут быть использованы совместно со сканирующим длину волны фотодетектором (например на основе волоконного резонатора Фабри-Перо) или на основе CCD спектрометра. В любом случае, максимальное количество решеток, как правило, не превышает 10-50, что ограничено диапазоном настройки пропускной способности источника света и необходимой разностью длин волн в решётках волокна.

- Другой метод, называемый временным разделением каналов (TDM), использует идентичные слабоотражающие решетки, в которые посылаются короткие световые импульсы. Отражение от различных решеток регистрируют посредством времени их поступления. Временное разделение каналов (TDM) часто используют вместе с разделением по всей длине волны (WDM) для того, чтобы умножить число различных каналов в сотни или даже тысячи раз.

#### Другие подходы

Помимо выше описанных подходов, есть много альтернативных методов. Вот некоторые из них:

Волоконные брэгговские решетки могут быть использованы в интерференционных оптических волокнах, где они используются только в качестве отражателей, и измеряют фазовый сдвиг, зависящий от расстояния между ними. Существуют лазерные брэгговские сенсоры, где датчик решетки располагается в последнем зеркале волоконно - оптического резонатора лазера, на основе волокна допированного эрбием, которое воспринимает свет накачки на длине волны 980 нм через волокно. Брэгговская длина волны, которая зависит, например, от температуры или механического напряжения, определяет длину волны генерации. Этот подход, который имеет много вариантов дальнейшего развития, обещает принести высокие результаты из-за узкой полосы спектральной области, которая характерна для волоконного лазера, и высокой чувствительности. В некоторых случаях, пары брэгговских решеток используются в качестве волокна для интерферометров Фабри-Перо, которые могут реагировать особо чувствительно на внешние воздействия. Интерферометр Фабри-Перо можно изготовить так же другим способом, например, используя переменный воздушный зазор в волокне. Длиннопериодные решетки особенно интересны для зондирования нескольких параметров одновременно (например, температуры и напряжения) или иначе, для альтернативного определения деформации при очень низкой чувствительности к температурным изменениям.

#### Области применения

Даже по прошествии нескольких лет развития, волоконно-оптические датчики до сих пор не пользуются большим коммерческим успехом, так как трудно заменить применяемые сейчас технологии, даже если они имеют определенные

ограничения. Хотя в некоторых областях применения, волоконно-оптические датчики получают все большее признание, как технология с большим потенциалом интересных возможностей. Это, например, работа в жестких условиях, таких как зондирование в устройствах с высоким напряжением, или в СВЧ печах. Сенсоры на основе брэгговских решеток могут также быть использованы, например, для мониторинга условий, внутри крыльев самолетов, в ветровых

турбинах, мостах, больших плотинах, нефтяных скважинах, и трубопроводах. Здания с встроенными волоконно-оптическими датчиками иногда называют «умными конструкциями», датчики в них осуществляют контроль деформации внутри различных частей конструкции, и получают данные об этих изменениях, например износе, вибрации и т.д. Умные конструкции являются основной движущей силой для развития волоконно-оптических датчиков.