

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана». - 2020. - Т.1, Ч.3 - С.134-137

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ДАТЧИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Кабидулатов А., Кусаинова К.Т.

Инфракрасное излучение было открыто в 1800 году английским астрономом У. Гершелем. Занимаясь исследованием Солнца, Гершель искал способ уменьшения нагрева инструмента, с помощью которого велись наблюдения. Определяя с помощью термометров действия разных участков видимого спектра, Гершель обнаружил, что «максимум тепла» лежит за насыщенным красным цветом и, возможно, «за видимым преломлением». Это исследование положило начало изучению инфракрасного излучения.

Раньше лабораторными источниками инфракрасного (ИК) излучения служили исключительно раскалённые тела либо электрические разряды в газах. Сейчас на основе твердотельных и молекулярных газовых лазеров созданы современные источники инфракрасного излучения с регулируемой или фиксированной частотой. Для регистрации излучения в ближней инфракрасной-области (до $\sim 1,3$ мкм) используются специальные фотопластинки. Более широким диапазоном чувствительности (примерно до 25 мкм) обладают фотоэлектрические детекторы и фоторезисторы. Излучение в дальней ИК-области регистрируется болометрами — детекторами, чувствительными к нагреву инфракрасным излучением.

ИК-аппаратура находит широкое применение как в военной технике (например, для наведения ракет), так и в гражданской (например, в волоконно-оптических системах связи). В качестве оптических элементов в ИК-спектрометрах используются либо линзы и призмы, либо дифракционные решётки и зеркала. Чтобы исключить поглощение излучения в воздухе, спектрометры для дальней ИК-области изготавливаются в вакуумном варианте [1].

Волоконно-оптический датчик представляет собой датчик физической величины, в конструкции которого в качестве чувствительного элемента используется волоконно-оптический волновод. Волоконно-оптическое измерение температуры - это применение оптоэлектронных устройств для измерения температуры, при которых стеклянные волокна используются в качестве линейных датчиков. Волоконно-оптические датчики температуры используются в областях, связанных с безопасностью. Например, они используются для контроля температуры в химических процессах, контроля температуры силовых кабелей для оптимизации производственных отношений, обеспечения пожарной безопасности в железнодорожных туннелях и в вагонах, а также для обнаружения утечек в трубопроводах.

Рассмотренные датчики могут быть использованы для повышения эффективности нефтяных и газовых скважин.

Общий принцип работы волоконно-оптического датчика заключается в следующем: свет от источника излучения пропускается через оптическое волокно, и в результате это приводит к изменению параметров в волокне. После прохождения оптического волокна спектры и интенсивности сравниваются с исходным излучением. Результат оценки измеренных значений не зависит от характеристик волокна. Измерительная информация переносится такими феноменами, как прерывание светового потока, отражение света, изменение энергии излучения. Датчики, использующие прерывание света, очень распространены и просты в использовании [2].

Метод волоконно-оптических измерений имеет несколько преимуществ: возможность непосредственного измерения температуры по шкале Кельвина, локализация наиболее нагретых мест и оценка изменений температуры. По сравнению с другими датчиками эти датчики взрывозащищены, не подвержены электрическим помехам, имеют широкий температурный диапазон. Волоконно-оптические датчики температуры состоят из непроводящих материалов, что позволяет использовать их под высоким напряжением. Оптоволоконные датчики перед классическими имеют ряд существенных преимуществ:

- низкий вес;
- высокая чувствительность;
- электромагнитная совместимость;
- возможность сетевого взаимодействия, а также мультиплексирования;
- волоконно-оптические технологии становятся все более передовыми и доступными с каждым годом.

Большим преимуществом оптоволоконных датчиков является также возможность измерения многих параметров:

- деформация, давление и сила;
- электрические и магнитные поля;
- звук и вибрация;
- pH и вязкость;
- наличие биологических молекул, бактерий и т. д. [3].

Волоконно-оптический датчик может использовать оптическое волокно либо в качестве чувствительного элемента («внутренние датчики»), либо в качестве средства передачи сигналов от удаленного датчика в электронику, которая обрабатывает сигналы («внешние датчики») [4]. Особенно полезной особенностью внутренних волоконно-оптических датчиков является то, что они могут, при необходимости, обеспечивать распределенное зондирование на очень больших расстояниях. Температуру можно измерить, используя волокно с потерями в затухании, которое изменяется в зависимости от температуры, или анализируя рассеяние Рэлея, комбинационное рассеяние или рассеяние Бриллюэна в оптическом волокне.

Внешние оптоволоконные датчики используют оптоволоконный кабель, обычно многомодовый, для передачи модулированного света либо от

неволоконного оптического датчика, либо от электронного датчика, подключенного к оптическому передатчику [5]. Основным преимуществом внешних датчиков является их способность достигать мест, которые в противном случае недоступны. Примером является измерение температуры внутри реактивных двигателей самолетов с использованием волокна для передачи излучения в радиационный пирометр, расположенный снаружи двигателя. Внешние датчики также могут использоваться таким же образом для измерения внутренней температуры электрических трансформаторов, где присутствующие экстремальные электромагнитные поля делают невозможными другие методы измерения [6].

Отличным примером использования оптических датчиков для измерения температуры являются распределенные волоконно-оптические системы измерения температуры для парового гравитационного дренажа (ПГД). ПГД - это усовершенствованная технология добычи нефти для производства тяжелой нефти и битума. Это продвинутая форма паростимуляции, при которой пара горизонтальных скважин пробурена в нефтяной резервуар, одна на несколько метров выше другой. Пар высокого давления непрерывно впрыскивается в верхний ствол скважины для нагревания нефти и снижения ее вязкости, в результате чего нагретое масло стекает в нижний ствол скважины, где оно откачивается [7]. Некоторые операторы, заинтересованные в термическом восстановлении тяжелой нефти в Канаде, были привержены пониманию того, как наилучшим образом добывать углеводороды, используя технологию парового потока. Они обнаружили, что ключом к извлечению было то, как паровая камера была распределена в резервуаре и как располагались добывающие скважины относительно этого распределения. Они также обнаружили, что точное измерение температуры в нескольких точках вдоль ствола скважины является важной частью процесса добычи. В ответ на эту потребность компания Schlumberger с более чем десятилетним опытом мониторинга скважин с термическим восстановлением разработала высокотемпературное многомодовое волокно DTS WellWatcherBriteBlue HT. Волокно было подвергнуто строгому процессу разработки, который включал ускоренные лабораторные испытания при температурах до 300 ° C и в среде чистого водорода под давлением 3,4 МПа.

Новая волоконная технология позволяет контролировать профили распределенных температур внутри скважины на поверхности в режиме реального времени. Это помогает построить детальную картину того, что происходит по всей длине ствола скважины. Данные могут передаваться в несколько удаленных местоположений с помощью спутниковой, интернет- и кабельной связи, что позволяет операторам сразу определять время, местоположение и причины изменений потока, все это определяется из профиля температуры. Полученная информация помогает оптимизировать процесс впрыска пара и максимально увеличить производительность.

Первая установка оптоволоконного датчика WellWatcherBriteBlue HT была проведена в апреле 2007 года в типичной скважинной паровой

гравитационной скважине. Скважина измеряла 1200 м и имела горизонтальный участок 600 м. Он регулярно работал при температуре около 200 ° С. Через 15 месяцев датчик работал нормально, и в волокне не было видимых изменений температуры, вызванных деградацией водорода. Точный мониторинг распределенных профилей измерения температуры нагнетательных и эксплуатационных скважин позволил сбалансировать и оптимизировать разности температур переохлаждения.

С тех пор оптоволоконные датчики WellWatcherBriteBlue HT были установлены в многочисленных недавно пробуренных скважинах и в старых установках, в которых волокно деградировало и более не обеспечивало точных температурных профилей. На сегодняшний день ни одна установка волоконно-оптического кабеля WellWatcherBriteBlue HT не демонстрирует коэффициентов потерь более чем около 0,25 дБ / км в год при повышенных температурах; коэффициенты потерь предыдущих наиболее доступных волокон составляли около 12 дБ / км в год в сопоставимых условиях. Это 50-кратное улучшение значительно увеличило время между заменами волокон, что позволяет операторам использовать данные ствола скважины для оптимизации коллектора в течение гораздо более длительных периодов, чем это было возможно ранее. Результатом стало как улучшение извлечения пласта, так и повышение эффективности впрыска пара.

В канадских резервуарах скважинные данные, полученные с помощью постоянно установленного волокна WellWatcherBriteBlue HT, продолжают непрерывно и в режиме реального времени отображать профили паровой камеры на горизонтальных участках скважин. Вооружившись этими температурными профилями, операторы лучше понимают процесс впрыска пара и факторы, необходимые для его оптимизации. Эти знания помогли им продлить срок службы скважин и увеличить общую добычу углеводородов [8].

Исследования в области применения оптоволоконных датчиков в геотехнической сфере провёл Ченг-Ю со своими коллегами. Распределенные оптоволоконные датчики привлекают значительное внимание геотехнических сообществ в течение нескольких десятилетий. Инновационная разработка структурного проектирования, герметизации и методов внедрения волоконно-оптических датчиков приводит к появлению множества новых приложений в области геотехнического мониторинга [9].

Подводя итог, можно сказать, что использование волоконно-оптических датчиков очень перспективно. С течением времени развитие оптоволоконных технологий идет вперед, качество оборудования растет, а цена становится все более доступной.

Список литературы

1. Инфракрасное излучение. [электронный ресурс]. Дата обращения: 15.03.2020. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инфракрасное_излучение

2. Волоконно-оптические датчики температуры. А.Р. Галимова, Е.Е. Галимуллина, Р.Д. Голкова, Н.А. Усов // Научно-исследовательский журнал, 2017.

3. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение / С.М. Качура. И. Постнов // Труды ВИАМ, 2019.

4. FiberOpticSensors: AnIntroduction for Engineers and Scientists. Eric Udd, William B. Spillman, Jr. 2011.

5. Fiber-opticsensor. [электронный ресурс]. URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber-optic_sensor. Дата обращения: 15.03.2020.

6. Sensor Technologies. Alan S. Morris, Reza Langari, in Measurement and Instrumentation (Second Edition), 2016.

7. Steam-assisted gravity drainage. [электронный ресурс] URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Steam-assisted_gravity_drainage. Дата обращения 15.03.2020.

8. Fiber-Optic Distributed Temperature Sensors Help Extend Well Life and Increase Re-covery [электронный ресурс]. Дата обращения 15.03.2020. URL: <https://www.slb.com/resource-library/case-study/co/wellwatcher-briteblue-canada>

9. Cheng-Yu H, Yi-Fan Z, Guo-Wei L, et al. Recent progress of using brillouin distributed fiber sensors for geotechnical health monitoring. Sens Actuators. 2017. DOI: 10.1016/j.sna.2017.03.017