

ФИЛЬТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА СИГНАЛА НА LABVIEW РОМАНОВСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Кузнецова Е.Ю., Алексеенко З.Н.

Научный руководитель: Стукач О.В.

Томский политехнический университет

ktua1993k1@mail.ru

Введение

Мониторинг температуры трубопроводов, воздушных линий электропередач, двигателей, трансформаторов для прогнозирования аварийных ситуаций и обслуживания оборудования является актуальной проблемой в настоящее время. Наиболее перспективным решением этой задачи является применение оптоволоконных систем измерения температуры, обладающие рядом преимуществ перед другими системами:

- точная локализация наиболее нагретых мест;
- построение непрерывных измерительных волоконно-оптических линий длиной до 50 км;
- широкий диапазон измерений $-200 - +300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температурное разрешение $- 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- нечувствительность к электромагнитным помехам и к долговременным дрейфам параметров источника и приёмника излучения, а также случайным затуханиям оптической мощности в волокне.

В качестве датчика температуры используется оптоволокно, физические воздействия на которое локально изменяют характеристики пропускания света и как следствие, приводят к изменению характеристик сигнала обратного отражения.

Принцип работы измерительного устройства

В основе измерительных систем, основанных на оптоволоконных датчиках, используется сравнение спектров и интенсивностей исходного лазерного излучения и излучения, рассеянного в обратном направлении, после прохождения по волокну. Основные принципы измерения основаны на обнаружении обратного рассеяния света, например, рэлеевского [1].

Объектом исследования является распределенный температурный датчик, основанный на комбинационном рассеянии (КР) света в волоконном световоде. КР сопровождается заметным изменением частоты рассеиваемого спектра: если источник испускает монохроматический свет, то в спектре рассеянного излучения обнаруживаются дополнительные линии, число и расположение которых тесно связано с молекулярным строением вещества. При КР преобразование первичного светового потока сопровождается обычно переходом рассеивающих молекул на другие колебательные и вращательные уровни энергии, причем частоты новых линий в спектре рассеяния являются комбинациями частот падающего света и частот колебательно-вращательных переходов рассеивающих молекул.

Если молекула вещества перешла из основного состояния в возбужденное, в спектре КР проявляются линии, имеющие значительно большую длину волны по сравнению с источником света (т.н. стокс). Возможен также и обратный процесс, когда молекула в результате КР переходит из возбужденного в основное состояние (т.н. антистокс). Очевидно, что заселенность возбужденного уровня напрямую зависит от температуры вещества, а значит и интенсивность антистоксовой компоненты будет проявлять температурную зависимость. Таким образом, регистрируя интенсивность антистоксовой компоненты КР с помощью такого датчика можно проводить измерения температуры на протяжении всего волокна.

Общая схема измерительного устройства приведена на рис.1.

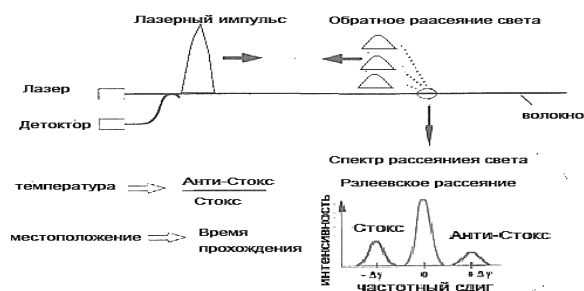


Рис.1. Общая схема измерительного устройства

Чувствительность и пространственное разрешение КР-датчика напрямую зависят от характеристик источника лазерного излучения, которое используется для зондирования волоконной линии. Поэтому особенную роль в сенсорной системе играют параметры импульсного лазера, осуществляющего опрос.

Оптический импульс поступающий в волокно, должен иметь достаточную мощность и ширину спектра. Поскольку лазер с подобными характеристиками подобрать довольно сложно, то используется схема с 2 лазерами — импульсным и накачки. Схема работы оптической части распределенного датчика температуры представлена на рис.2. Импульсный лазер генерирует оптический сигнал, который проходит через циркулятор и попадает в волоконный эрбиевый усилитель, затем отражается от брэгговской решетки. Брэгговская решетка отражает излучение на своей центральной длине волны с очень узким спектром, порядка 2 нм. За брэгговской решеткой находится лазер накачки, увеличивающий оптическую мощность сигнала,

отраженного от брэгговской решетки. Отраженный импульс снова проходит через эрбиевый усилитель и возвращается в циркулятор, который отправляет его непосредственно в чувствительный элемент.

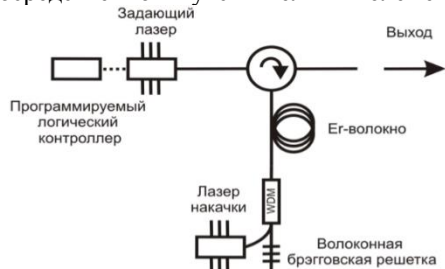


Рис.2. Схема генерации оптического импульса
Улучшенная обработка сигналов

В работе предложен улучшенный способ обработки сигнала с датчика.

Оцифрованный сигнал с фотоприемника в виде одиночного импульса представлен на рис.3.

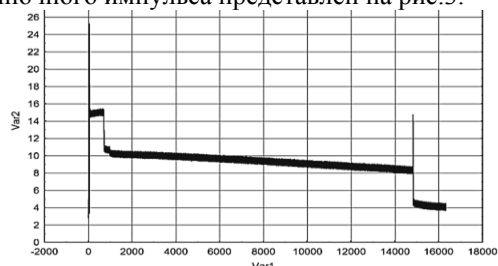


Рис.3. Оцифрованный сигнал с фотоприемника
в виде одиночного импульса

Для получения конкретного значения проводим усреднения, путем нахождения среднего арифметического и медианного значения для стоксовых и антистоксовых компонент. Полученные значения заносим в таблицу 1.

Таблица 1. Среднее арифметическое и медиана для стоксовых и антистоксовых компонент

	Среднее арифметическое	Медианное значение
Стокс	9,49509	9,00000
Антистокс	12,16337	12,00000

Из таблицы 1 видно, что значения среднего арифметического и температуры отличаются, в соответствии с [3] оценка медианного значения достовернее.

Заселенность возбужденного уровня напрямую зависит от температуры вещества, а значит, и интенсивность антистоксовой компоненты будет проявлять температурную зависимость. Известно, что в силикатном оптоволокне компоненты КР отстоят от центральной компоненты приблизительно на 440 см^{-1} . Для исключения нетемпературных эффектов, приводящих к изменениям интенсивности антистоксовой компоненты (таких как изгибные потери или потери на сварках волокна), требуется произвести её нормировку на интенсивность стоксовой компоненты КР. В этом случае будем иметь следующую формулу для температурной зависимости:

$$\frac{I_{as}(T)}{I_s(T)} = \left(\frac{\gamma_{as}}{\gamma_s}\right)^4 \exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \quad (1)$$

где ν_{as} , ν_s – частоты антистоксовой и стоксовой компонент соответственно;

k_B – константа Больцмана;

h – постоянная Планка;

T – абсолютная температура.

Информация о температуре содержится в основном в антистоксовой компоненте, однако ее интенсивность настолько слабая, что эту линию рассеяния едва видно. Для того чтобы можно было выделить из шумового сигнала достаточное количество антистоксового рассеяния, используют многомодовые волокна, в которых площадь рассеяния существенно выше по сравнению с одномодовыми световодами. Благодаря этому в многомодовых волокнах требуется приблизительно один метр волокна, чтобы накопить достаточное количество сигнала для обработки. В одномодовых же линиях аналогичная длина волокна должна составлять 4-10 метров, что в разы снижает пространственное разрешение датчика в целом. Однако у датчиков на основе многомодовых волокон также есть и существенный недостаток – это относительно большие потери, которые ограничивают длину чувствительной линии до 10 км. Для достижения приемлемых характеристик датчика, требуется мощный импульсный источник опроса, высокочувствительная система регистрации и сложные методы обработки сигнала.

Заключение

Для рамановского датчика измерения температуры получены средние и медианные значения импульсов, выдвинуто предположение на счет более достоверного значения, но для получения определенного температурного значения требуются дальнейшие исследования. Также необходимо проводить фильтрацию полученного сигнала, для устранения грубых ошибок, возникновение которых возможно за счет наличия помех спектральных составляющих. Фильтрация сигнала устранил грубые ошибки и поможет повысить точности измерения.

Литература

1. Кузнецова Е.Ю., Стукач О.В. Волоконно-оптический датчик измерения температуры // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск. - 2014. - С. 55-56.
2. J. P. Dakin, D. J. Pratt, G. W. Bibby, and J. N. Ross. Distributed optical fiber Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector // Electronics Letters. – 1985 - №21. - С. 569–570.
3. А.И. Орлов. Математические методы исследований и теория измерений// «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» - 2006 - № 1. Том 72. – С.67-70.