

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В МНОГОМОДОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ РАМАНОВСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРАХ

В последние годы интенсивно развиваются волоконно-оптические рефлектометры на основе комбинационного (Рамановского) рассеяния, которые существенно менее изучены по сравнению с рефлектометрами, работающими на Рэлеевском рассеянии. Одним из применений таких рефлектометров является распределенный датчик температуры (Distributed Temperature Sensor – DTS). DTS позволяет измерить температуру окружающей среды по всей длине оптоволоконного кабеля с пространственным разрешением до 1 метра и температурным - до 0.1°C . Длина оптоволоконного кабеля может достигать 30 км [1]. Его работа основана на оптическом эффекте в оптоволоконном кабеле – обратном спонтанном Рамановском рассеянии [2], интенсивность Антистоксовой компоненты которого чувствительна к температуре. Принцип действия DTS основан на том, что в волокно посылаются короткие импульсы света и измеряется зависимость мощности рассеянного или отраженного назад импульса от времени его запаздывания. Антистоксова компонента рассеяния используется как сигнальный канал, а Стоксова является опорным каналом, т.е. измеряется отношение мощности рассеянного света на антистоксовой частоте P_a к мощности рассеянного света на Стоксовой частоте P_s при определенной температуре [1]:

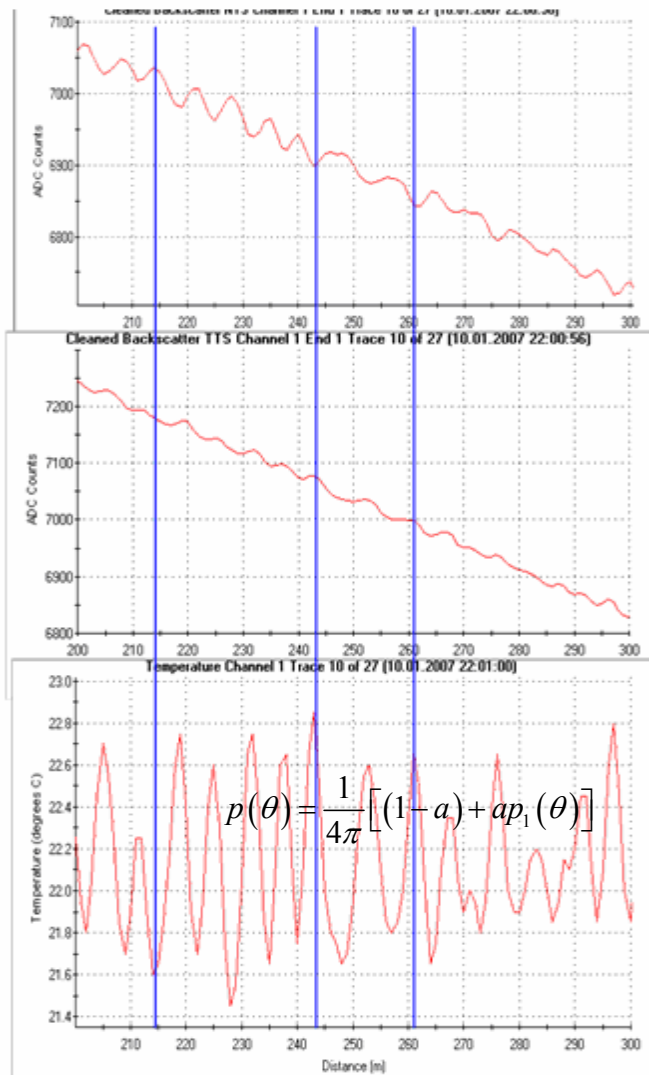
$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{k_b}{h\nu_{kn}} \left[\ln \frac{F(T)}{F(T_0)} \right], \text{ где } F(T) = \frac{P_a}{P_s}$$

Датчик калибруют при некоторой заранее известной температуре T_0 .

В DTS могут применяться как одномодовые так и многомодовые волокна. В данной работе изучается вариант DTS с многомодовым волокном.

Анализ литературы показал, что существуют скалярные модели Рамановских рефлектометров, не учитывающие поляризационных явлений в волоконных световодах. Данный доклад посвящен разработке упрощенной векторной модели многомодового Рамановского рефлектометра, позволяющей объяснить наблюдаемые в экспериментах сигналы, зависящие от состояния поляризации падающего света.

В некоторых экспериментах при детальном рассмотрении Стоксовой, Антистоксовой компонент и температурной трассы (рис. 1) видны устойчивые пульсации температурного канала, которые не увязывались с реальными температурными пульсациями в соответствующей части контролируемого волокна. Температурные пульсации имеют максимальную амплитуду около 1° и пространственный период приблизительно 6-8 метров. Место пульсаций жестко связано с конкретной частью многомодового волокна. Переворот волокна (перемена местами начала и конца волокна) приводил к перемещению температурных пульсаций в соответствующее место. Характер температурных пульсаций меняется при различных внешних возмущениях (сгибание, поперечное давление), которые приводят к изменению состояния поляризации падающей волны. Такое изменение можно увидеть как замещение максимумов и минимумов и как изменение огибающей температурных пульсаций. Существенно заметить, что изменения появлялись только после места воздействия (если двигаться от лазера к свободному концу волокна). Однако, локальный нагрев волокна не приводил к изменению температурных пульсаций. Нагрев волокна производился в том же самом месте, где было сгибание.



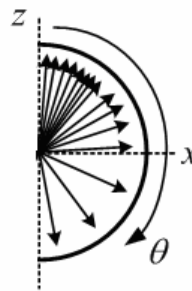
$$p(\theta) = \frac{1}{4\pi} [(1-a) + ap_1(\theta)]$$

Для объяснения этих паразитных флуктуаций была предложена модель остаточной молекулярной анизотропии в сердцевине стекла многомодового волокна. Из литературы известно, что молекулы, участвующие в процессе спонтанного Рамановского рассеяния в кварцевом стекле, являются пространственно анизотропными [3]. В стеклообразном состоянии происходит значительное усреднение этой анизотропии.

Основная идея предложенной модели в том, что предполагается, что часть этих молекул имеют преимущественное направление ориентации (рис. 2). Тогда ориентация молекул определяется с помощью функции распределения по углу θ (угол между направлением поляризации падающей волны и выделенным

$$p_1(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi \sin \theta_0} & \text{если } \theta = \theta_0 \\ 0, & \text{остальное.} \end{cases}$$

где a – так называемый параметр “беспорядка”, величину которого и предстоит оценить.



Из экспериментальных данной моделью расчетов составил 0,004. Т.е. для необходим “беспорядок” в представляется весьма

предложенная модель распространяется излучение сильно

данных и произведенных в соответствии с был оценен параметр “беспорядка”, он существования поляризационных пульсаций ориентации молекул 0.5%, что реальным.

Существенно заметить, что корректна, если в многомодовом волокне небольшое число мод. В этом случае поляризовано. Изменение состояния поляризации падающего света меняет интенсивность спонтанного Рамановского рассеяния. После акта рассеяния волна остается сильно поляризованной, но некогерентной. При прохождении света к началу световода изменение состояния поляризации не влияет на величину регистрируемой интенсивности, поскольку Y-разветвитель и фотоприемник являются поляризационно-независимыми в нашем экспериментальном макете.

Рис. 2. Оценки, сделанные для поляризационных пульсаций на базе модели остаточной анизотропии, хорошо согласуются с результатами экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ю.Н.Кульчин, «Распределенные волоконно-оптические измерительные системы», М.: Физматлит, 2001, 272 с.

2. German Chartier, "Introduction to Optics", 2005, Springer, NY, 535 p.
3. И.Брандмюллер, Г.Мозер, «Введение в спектроскопию комбинационного рассеяния света», М.: Мир, 1964, 628 с.