

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННО — ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Н. Замышляев (ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»)

Рассматривается возможность замещения традиционных датчиков температуры, давления и др. на волоконно-оптические датчики в стендовых и бортовых системах измерения при испытаниях авиационных газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: препарировка, волоконно-оптический датчик, волоконная брэгговская решетка, электромагнитная совместимость (помеха), газотурбинный двигатель.

Испытание авиационных двигателей и их агрегатов — один из видов производственных процессов. Совершенствование процесса испытания позволяет оптимально использовать ресурсы автоматизированных систем контроля при испытаниях (стендовых и летных) и доводке авиационного двигателя [1].

При испытаниях и доводке газотурбинных двигателей (ГТД) в газо-воздушный тракт (ГВТ) двигателя и топливную и масляную системы устанавливается множество дополнительных датчиков. На специальных (в том числе летных) испытаниях ГТД препарируется множественными замерах по определению деформаций корпусов и подвижных частей.

Летные испытания ГТД проводятся в составе специально оборудованных летающих лабораториях самолета с силовой установкой, включающей два и более ГТД. Испытуемый ГТД, препарированный дополнительными замерах, устанавливается вместо одного из штатных.

Как правило, штатные мотоотсеки силовой установки летающих лабораторий не рассчитаны на размещение дополнительного измерительного оборудования, в связи с чем в процессе летных испытаний разработчику ГТД не всегда удается провести измерения в желаемых местах и в достаточном объеме. Экспериментаторам также приходится решать вопрос электромагнитной совместимости вновь устанавливаемых датчиков и прокладываемых коммуникаций как со штатным, так и с вновь устанавливаемым оборудованием.

Современные волоконно — оптические технологии и разработанные на их основе волоконно-оптические датчики (ВОД) позволяют избавить экспериментатора от перечисленных проблем. В настоящее время наиболее перспективными в качестве чувствительного элемента для датчиков физических величин считаются внутриволоконные брэгговские решетки (ВБР). Принцип работы ВБР проиллюстрирован на рис. 1.

Излучение, распространяющееся по оптическому волокну, представляет комбинацию собственных мод (лучей) световода: излучательных (затухающих в оболочке) и направляемых, которые распространяются в сердцевине в соответствии с эффектом полного внутреннего отражения и соответствуют дискретному набору постоянных распростране-

ния. При отсутствии механических и (или) температурных воздействий на ВБР моды распространяются без взаимодействия друг с другом, и поэтому период ВБР (период изменения показателя преломления) выбирается таким образом, чтобы модуляция связывала основную моду с модой, распространяющейся в обратном направлении. В результате на дискретной длине волны распространяющееся по сердцевине оптического волокна излучение отражается от ВБР, и центральная длина волны отражения определяется условием Брэгга:

$$\lambda_{\text{в}} = 2 \cdot n \cdot \Lambda,$$

где  $\lambda_{\text{в}}$  — центральная длина волны отражения, определяемая параметрами ВБР;  $n$  — показатель преломления сердцевины оптического волокна для центральной длины волны;  $\Lambda$  — период ВБР.

Свет, распространяющийся в сердцевине оптического волокна, рассеивается каждой гранью ВБР, и для длин волн, удовлетворяющих условию Брэгга, вклады отраженного света от каждой грани складываются и распространяются в обратном направлении.

При наличии механических и (или) температурных воздействий период ВБР изменяется, что приводит к сдвигу резонанса при сложении входящей и отраженной волн. Величина данного сдвига фиксируется аппаратурой.

Исходное излучение, кроме моды, на которую настроена рассматриваемая ВБР, распространяется

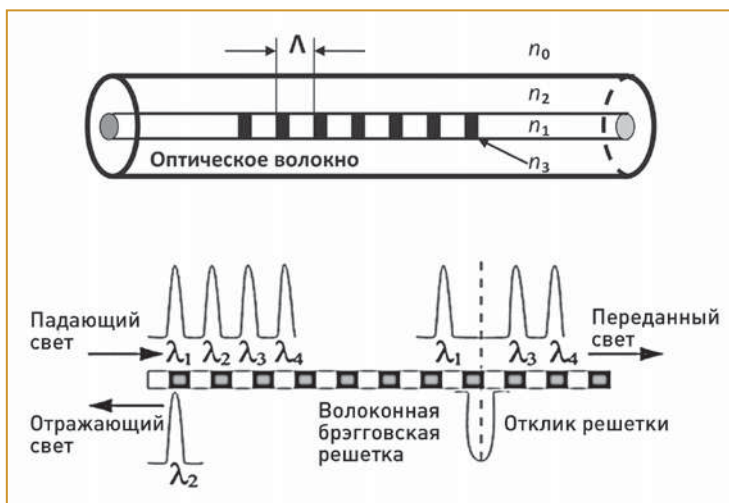


Рис. 1. Принцип работы ВБР, где  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  — показатели преломления окружающей среды, оболочки световода, сердцевины световода, ВБР соответственно

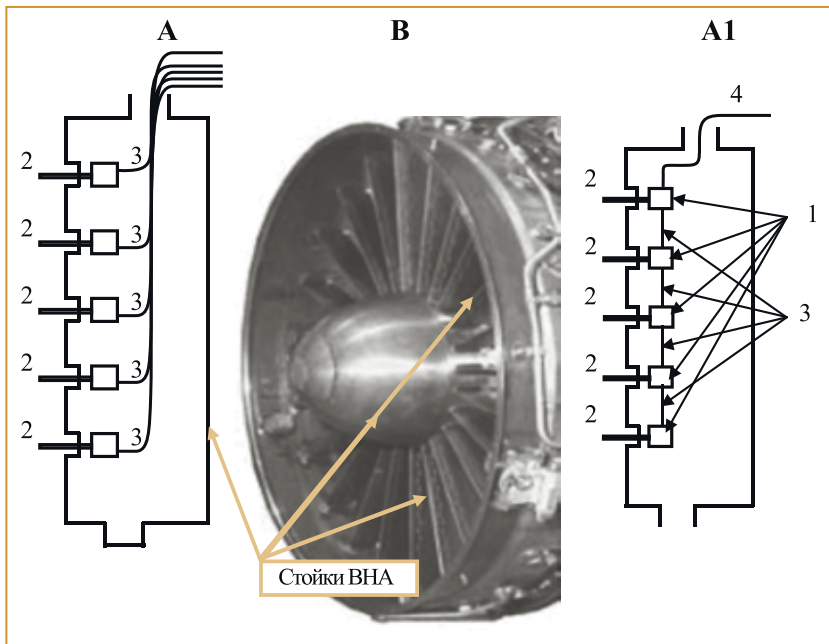


Рис. 2. Стойка входного направляющего аппарата, препарированная ВОД (А, А1); фрагмент ГТД с входным направляющим аппаратом (В), где 1 – ВОД, 2 – капилляр (камера торможения), 3 – оптическое волокно (вариант А – жгут оптических волокон), защищенное полиамидом или металлическим напылением, 4 – вывод оптического кабеля (вариант А – кабелей)

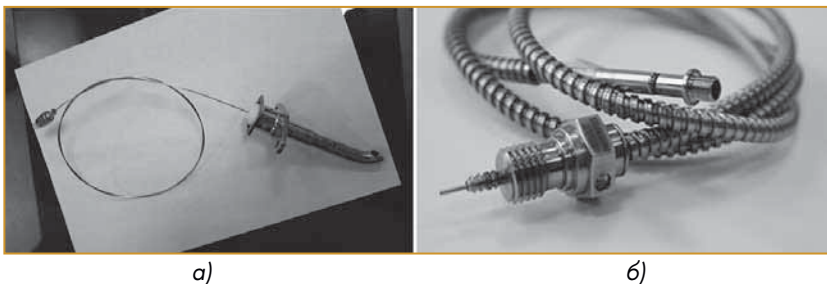


Рис. 3. Макетные образцы ВОД температуры в корпусах серийных датчиков температуры

далее по сердцевине оптического волокна до следующей ВБР (рис. 1).

Уникальные свойства оптического волокна и датчиков на его основе (в частности, датчиков с ВБР в качестве чувствительного элемента): невосприимчивость к ЭМП, небольшая масса и габариты, широкий температурный диапазон ( $-65 \dots 450^\circ\text{C}$ ), простота коммуникаций и пространственного мультиплексирования позволяют создавать топологии, недоступные системам измерения с традиционными датчиками и делают датчики с ВБР привлекательными для применения в специфичных условиях плотной компоновки авиационного двигателя.

На рис. 2 представлен вариант возможного применения ВОД с чувствительным элементом ВБР в составе

информационно — измерительной системы ГТД, а на рис. 3 — варианты конструктивного исполнения ВОД температуры на базе серийных корпусов.

В разработанном устройстве для измерения давления и температуры в потоке газа и/или жидкости<sup>1</sup> для измерения полей давления на входе ГТД предложено использовать ВОД на ВБР с камерами торможения потока. Схематично стойка входного направляющего аппарата, препарированная ВОД, представлена на рис. 2. Как видно из рис. 2, возможны различные варианты соединения ВОД.

Расположение ВОД в варианте А2 иллюстрирует возможность последовательного размещения ВБР, настроенных на различные длины волн, на длине оптического волокна.

На рис. 3 представлены макетные образцы ВОД температуры — одноволоковое (диаметр 125 мкм) оптическое волокно с ВБР в стальной трубке смонтировано в корпусах датчиков температуры П-98 А (рис. 3 а) и ТП-03 (рис. 3 б).

Касательно измерений давления, деформации, параметров вибрации в условиях одновременного воздействия на ВБР механических факторов и температуры — конструктивные решения и программное обеспечение обработки сигналов от ВБР позволяют соответственно либо компенсировать паразитное влияние введением в канал дополнительной компенсирующей ВБР, либо выделять составляющие из суммарного сигнала [3].

Таким образом, замещение традиционных датчиков волоконно-оптическими в стендовых и бортовых системах измерения при испытаниях авиационных газотурбинных двигателей позволяет решить проблемы с местом для размещения и электромагнитной совместимости дополнительного измерительного оборудования.

#### Список литературы

1. Солохин Э.Л. Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей. М. Машиностроение. 1975.
2. Варжель С.В. Волоконные брэгговские решетки. Учебное пособие. Министерство образования и науки РФ. Университет ИТМО. С.Петербург, 2015 г.
3. Нуреев И.И. Радиофотонные амплитудно – фазовые методы интеррогации комплексированных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Инженерный вестник Дона. №2. 2016.4

*Замышляев Алексей Николаевич – ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова».*

*Контактный телефон 8-903-515-28-74.*

*E-mail: aleks1355@yandex.ru*

<sup>1</sup> Патент RU 2567470. Д.Ю. Еричев, А.Н. Замышляев, Л.Н. Давыдова, В.М. Самсонов «Устройство для измерения давления и температуры в потоке газа и/или жидкости и стенд для испытания и измерения характеристик работы газотурбинного двигателя».