

Следует особо отметить, что несмотря на предварительный упругий преднатяг деталей в контакте, при колебаниях возникает "насосный" эффект (нагнетание) и после некоторого времени от начала движения в контакте возникает гарантированная смазочная прослойка. На основании опыта проведенных исследований на таких упрощенных контактно - гидродинамических моделях в дальнейшем нами было принято решение, полученное дифференциальное уравнение для контактных деформаций применять при исследовании контактной гидродинамики в шлицевых соединениях и в других подобных им случаях.

Мы считаем, что такую методику расчетов можно применять и в подшипниках скольжения и в подпятниках, как в условиях вибраций, так и при учете погрешностей изготовления сопряженных деталей.

ОРИГИНАЛЬНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИЙ КОНСТРУКЦИЙ ГТД

Лиманова Н.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Решение проблемы обеспечения надежности элементов конструкций ГТД, испытывающих значительные вибрационные нагрузки, невозможно без использования датчиков вибраций. Для определения параметров вибрации труднодоступных элементов двигателей наиболее подходят рефлектометрические волоконно-оптические датчики (ВОД), т.к. они имеют малые габариты, массу, хорошую гибкость, обладают работоспособностью в агрессивных и взрывоопасных средах, на них не действуют электрические и магнитные помехи. Однако, особенностью проведения измерений изнутри и снаружи ГТД является наличие дестабилизирующих процесс измерения факторов, например, таких как запыленность среды между торцом волоконно-оптического жгута и объектом контроля, загрязнение поверхности элемента конструкции ГТД, что приводит к изменению коэффициента отражения поверхности объекта контроля (коэффициент отражения света от контролируемой поверхности различен для разных объектов. Это зависит от типа материала и чистоты обработки поверхности), а также наличие внешних засветок. В результате изменения питающих напряжений, старения и т.д. могут изменяться мощность источника излучения и чувствительность фотоприемника, что приводит к ошибке в определении параметров вибрации. Для того,

чтобы использовать достоинства ВОД и нейтрализовать недостатки, автор предлагает использовать оригинальный двухканальный волоконно-оптический датчик и специальные алгоритмы обработки сигналов с выходов измерительных каналов [1]. Главными недостатками существующих волоконно-оптических датчиков вибраций являются неточный выход на линейный участок функции преобразования ВОД и зависимость чувствительности датчика вибраций к изменениям коэффициента отражения поверхности контролируемого объекта, мощности источника излучения и т.д. Если амплитуда измеряемой вибрации небольшая, то существенной нелинейностью функции преобразования ВОД в первом приближении можно пренебречь. Описываемый способ измерения вибраций и оригинальный датчик вибраций, обладающие сравнительно простым способом обработки сигналов с фотоприемников и конструкцией жгута световодов, позволяют в целом устранить отмеченные недостатки датчиков вибраций. Структурная схема датчика вибраций ВОД изображена на рис.1.

Способ измерения вибраций [1] заключается в следующем. Излучающий, первый и второй приемные жгуты волоконных световодов (ВС) 3, 4 и 5, соответственно, располагают вблизи от поверхности контролируемого объекта 6. С помощью излучающего жгута 3 ВС и источника излучения 2 освещают поверхность 6. Отраженный свет попадает в жгуты 4 и 5 ВС, что приводит к появлению

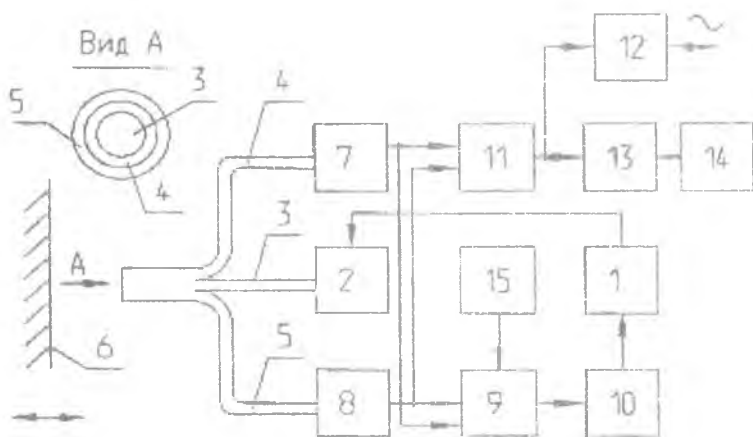


Рис.1. Двухканальный датчик вибраций

сигналов U_1 и U_2 на выходах фотоприемников 7 и 8, соответственно. При изменении величины зазора z величина U_1 изменяется в соответствии с известной [2] зависимостью $U(z)$, изображенной на рис. 2. При малых значениях z (см. рис. 2) сигнал U_2 будет меньше U_1 , при дальнейшем увеличении z величина U_2 будет увеличиваться, а в дальнейшем превысит U_1 . В целом зависимость $U_2(z)$ будет сдвинута относительно $U_1(z)$ в сторону больших значений z .

Используя величины U_1 и U_2 , формируют с помощью блока 11 вычитания сигнал

$$S_1 = U_2 - U_1. \quad (1)$$

Как следует из рис. 2, на котором изображена зависимость $S_1(z)$, при $z < z_0$ величина $S_1 < 0$, а при $z > z_0$ $S_1 > 0$, где z_0 - абсцисса точки пересечения зависимостей $U_1(z)$ и $U_2(z)$.

Измерение виброперемещений производят при установочном зазоре $z = z_0$, для чего при $S_1 < 0$ зазор увеличивают, а при $S_1 > 0$, зазор уменьшают до получения равенства $S_{lav} = 0$, где S_{lav} - постоянная составляющая сигнала S_1 . Сигнал S_1 можно получить и в статике, не изменяя z , а знак сигнала S_1 позволяет судить о направлении изменения z . Принципиально важным является то, что при изменении мощности P_I источника света или при изменении коэффициента K_{ref} отражения света от поверхности происходит одинаковое "растяжение" или "сжатие" зависимостей $U_1(z)$ и $U_2(z)$ вдоль оси U на рис. 2, но при этом абсцисса точки пересечения этих двух зависимостей не изменится.

Таким образом, на точность установки величины зазора z_0 не влияет изменение величин P_I и K_{ref} . С помощью фильтра нижних частот 13 выделяется постоянная составляющая S_1 , которая поступает на блок индикации 14. Цвет свечения блока 14 индикации зависит от знака поступающего на его вход напряжения. В результате, если торец волоконно-оптического жгута расположен слишком близко к контролируемому объекту, имеется свечение зеленого света, а если далеко - то красного. Это позволяет оперативно контролировать установочный зазор.

При вибрации (отклонении z от z_0) величины U_1 и U_2 получают разные по знаку приращения, то есть величина S_1 модулируется,

однако, постоянные составляющие величин U_1 , U_2 и S_i не изменяются, поэтому выбирают установочный зазор из условия (1), что позволяет устанавливать и контролировать величину зазора и при вибрирующем изделии.

Под действием дестабилизирующих факторов (изменение к.п.д. источника света при изменении температуры или старении, запыление отражающей свет поверхности) могут изменяться величины P_I и K_{ref} что вызовет, как отмечалось выше, одинаковое "сжатие" или "растяжение" зависимостей $U_1(z)$ и $U_2(z)$ по оси U . Считая фотоприемники линейными устройствами, влияние P_I и K_{ref} на величины U_1 и U_2 можно выразить следующим образом

$$U_1 = f_1(z) P_I K_{ref}, \quad (2)$$

$$U_2 = f_2(z) P_I K_{ref}, \quad (3)$$

где $f_1(z), f_2(z)$ - функциональные зависимости, учитывающие нелинейности функций преобразования каналов измерения ВОД

Чувствительность S_I к вибрации (наклон $S_I(z)$ на рис. 3) с учетом (2), (3) и (1) равна

$$\frac{\partial S_I}{\partial z} = \frac{\partial(U_2 - U_1)}{\partial z} = P_I K_{ref} \left(\frac{\partial f_2(z)}{\partial z} - \frac{\partial f_1(z)}{\partial z} \right) \quad (4)$$

и будет зависеть от P_I и K_{ref} . Для исключения влияния P_I и K_{ref} на величину $\frac{\partial S_I}{\partial z}$ с помощью блока сложения 9 формируется сигнал S_2 :

$$S_2 = U_1 + U_2. \quad (5)$$

В установившемся режиме за счет изменения мощности излучения на входе интегратора 10 поддерживается нулевой сигнал, т.е. имеется равенство $S_{2av} = const$. При этом, с учетом (5), (2) и (3) получим

$$S_{2av} = (U_1 + U_2)_{av} = [f_1(z) + f_2(z)]_{av} P_I K_{ref} = const, \quad (6)$$

где $[f_1(z) + f_2(z)]_{av}$ - среднее значение величины $f_1(z) + f_2(z)$.

Так как величина $[f_1(z) + f_2(z)]_{av}$ при неизменном установочном зазоре есть величина постоянная, то путем изменения P_I до получения равенства (6), стабилизируется величина $P_I K_{ref}$ ($P_I K_{ref} = const$), то есть поддерживается постоянной чувствительность S_I к вибрации (4). Таким образом, за счет

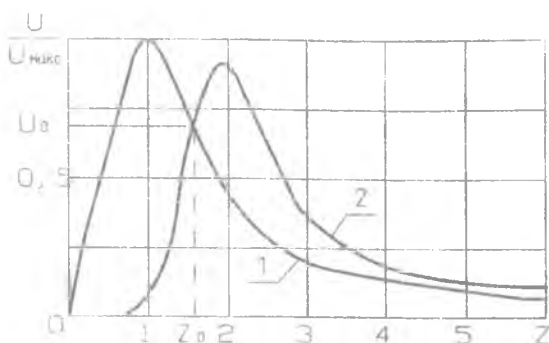


Рис. 2. Функции преобразования датчика вибрации:
1 - первого, 2 - второго каналов измерения

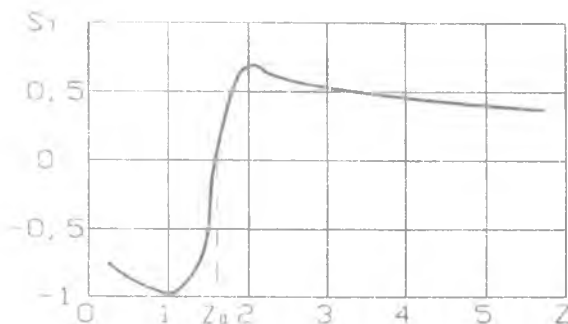


Рис. 3. Зависимость $S1=U2-U1$ от z

выполнения условий $S_{lav} = 0$ и $S_{2av} = const$ обеспечивается измерение вибрации при постоянном зазоре и стабилизируется чувствительность ВОД к вибрации. После описанных выше операций измеряют вибрацию, для чего из сигнала S_1 выделяют переменную составляющую $S_{1\sim}$, по величине которой судят об амплитуде колебаний контролируемой поверхности.

Для получения минимальной погрешности от нелинейности функции преобразования на рабочем участке конфигурацию приемных зон на торце жгута световодов следует выбирать таким образом, чтобы точка пересечения зависимостей $f_1(z)$ и $f_2(z)$ находилась на линейных участках зависимостей, и абсолютные величины наклонов

$\frac{\partial f_1}{\partial z}, \frac{\partial f_2}{\partial z}$ были равны [3]. Последнее условие можно выполнить, изменяя коэффициенты преобразования фотоприемников 7 и 8.

Данный способ позволяет легко автоматизировать установку нужного зазора в процессе виброизмерений, так, наличие четкой зависимости S_1 от зазора (при $z < z_0$ $S_1 < 0$, при $z > z_0$ $S_1 > 0$) позволяет использовать автоматические устройства (на основе электронных регуляторов и электромагнита) для установки и поддержания нужной величины установочного зазора.

В способе [1] и ВОД снижено влияние на результат измерений небольших перекосов жгута световодов. Математически это можно показать следующим образом. Если считать, что в точке пересечения $f_1(z)$ и $f_2(z)$ линейны и углы наклона равны по абсолютной величине, то можно записать

$$U_1 = (a_0 + a_1 z)(1 + c_N \alpha_N) \quad (7)$$

$$U_2 = (a'_0 + a'_1 z)(1 - c_N \alpha_N) \quad (8)$$

где $a_0, a'_0, a_1, a'_1, c_N$ - коэффициенты, причем $a_1 \approx -a'_1, \alpha_N$ - угол отклонения нормали к плоскости торца жгута световодов от нормали к поверхности контролируемого объекта.

Допущение о линейности зависимостей U_1 и U_2 от α_N является правомерным в том случае, если величины углов α_N не превышают единиц градусов.

Учитывая, что при установленном зазоре при угле наклона, равном нулю, U_1 и U_2 равны, можно записать

$$a_0 + a_1 z = a'_0 + a'_1 z = U_0, \quad (9)$$

где U_0 - значение U_1 и U_2 в точке пересечения (см. рис. 2). Согласно (9), (7) и (8) величина

$$S_2 = U_1 + U_2 = U_0[(1 + c_N \alpha_N) + (1 - c_N \alpha_N)] = 2U_0 \quad (10)$$

и не зависит от α_N .

Чувствительность S_1 к z в соответствии с (1), (7), (8) составит

$$\frac{\partial S_1}{\partial z} = \frac{\partial U_2}{\partial z} - \frac{\partial U_1}{\partial z} = (a'_1 - a_1) - c_N \alpha_N (a'_1 + a_1). \quad (11)$$

Если углы наклона $f_1(z)$ и $f_2(z)$ равны по абсолютной величине, $a'_1 = -a_1$, то, используя (11), получим

$$\frac{\partial S_1}{\partial z} = -2a_1,$$

т.е. чувствительность S_I к вибрации $\frac{\partial S_I}{\partial z}$ не зависит от α_N

Таким образом, при изменении в небольшом диапазоне α_N чувствительность ВОД к вибрации не изменяется, не изменяется и величина тока, питающего источник излучения, так как S_2 также не зависит от α_N (10). Необходимо отметить, что и при не абсолютно точном выполнении равенства $a'_I = -a_I$ или при наличии небольшой нелинейности зависимостей $f_1(z)$ и $f_2(z)$ наблюдается уменьшение влияния α_N на точность измерения по сравнению с существующими ВОД

Точная установка нужного зазора (причем возможна установка зазора при вибрирующей поверхности контролируемого объекта), контроль величины установочного зазора непосредственно при измерении вибрации, увеличение чувствительности способа к вибрации приводит к увеличению точности измерений. Кроме этого, снижено влияние фоновой засветки фотоприемников на точность установки зазора, так как в процессе формирования сигнала S_{lav} , по которому устанавливают зазор, происходит вычитание сигналов, наводимых фоновой засветкой.

Кроме этого, на результат измерения описанного ВОД не влияют запыленность среды между вибрирующей поверхностью и датчиком, загрязнение отражающей свет поверхности, изменение к.п.д. источника света при изменении температуры или старении. Все эти вышеперечисленные преимущества, реализованные в описанном ВОД, позволяют с успехом использовать разработанный датчик для контроля вибраций элементов конструкций ГТД.

Список литературы

1. А.с. 1798632 СССР, МКИ G 01 H 17/00. Способ измерения вибраций и устройство для его осуществления / Конюхов Н.Е., Лиманова Н.И., Шишкин А.Р., Гречишников В.М. и Данилов А.В. - Оpubл. 28.02.93. Бюл. № 8.
2. Зак Е.А. Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией. - М : Энергоатомиздат, 1989. - 128 с.
3. Limanova N.I. Multichannel Fiber Optic Sensors for Precision Measurements of Vibration and Linear Position // Fiber Optic and Laser Sensors XIV // SPIE Proceedings, 7-9 August 1996, Denver, Colorado, v. 2839, pp. 342 - 349