УДК 621.373.8

ВИБРОМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОГРАММ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

© 2009 А.И. Жужукин, В.А. Солянников

Самарский научно-технический комплекс имени академика Н.Д. Кузнецова

Поступила в редакцию 30.12.2008

Описана конструкция корреляционного спекл-интерферометра, в котором предметный и опорный пучки имеют спекл-структуру. Используемая опорная волна берется от фазового объекта, расположенного перед исследуемым объектом. Для повышения соотношения сигнал/шум реализован метод многокадрового усреднения.

Ключевые слова: измерение вибраций, спекл-интерферометрия, лазерные спеклы, фильтрация спекл-шумов.

Одной из серьезных проблем при создании современных газотурбинных двигателей (ГТД) является обеспечение требуемой вибропрочности элементов конструкций. Для эффективной борьбы с резонансными поломками необходимо знать как спектр собственных частот, так и спектр соответствующих им форм колебаний [1].

Эта задача может быть решена методом голографической интерферометрии [2]. Существенным недостатком голографического способа является необходимость обеспечения эффективной виброизоляции голографического интерферометра и применение высокоразрешающих регистрирующих материалов. Виброизоляция интерферометра достигается с помощью ряда мер, таких как, например, увеличение массы измерительной установки, повышение ее жесткости, использование различного рода амортизаторов. Эти меры ограничивают область применения голографического метода только лабораторными условиями. Кроме того, необходимость использования фотоматериалов с присущей им технологией фотохимической обработки затрудняет процесс оперативного контроля исследуемых объектов и его автоматизацию. Частично эти недостатки могут быть устранены при регистрации резонансных колебаний объектов методом корреляционной спекл-интерферометрии с компьютерной регистрацией форм колебаний [3]. Однако оптическая схема такого интерферометра достаточно сложна и может быть собрана только на специальном интерферометрическом столе, что ограничивает применение этого метода только лабораторными условиями. В [4] описана установка для исследования форм колебаний, которая не требует наличия интерферометрического стола и может быть использована в производственных и стендовых условиях. Но качество (соотношение сигнал/шум, контраст) получаемых спекл - интерферограмм значительно уступает интерферограммам регистрируемым голографическими методами. Количественная интерпретация таких спекл – интерферограмм трудна из – за высокого уровня спекл - шумов.

С целью получения интерференционных картин с высоким разрешением за счет значительного снижения спекл—шумов разработана установка (рис. 1), которая может быть использована в производственных и стендовых условиях [5].

Схема предложенного спекл – интерферометра дана на рис.1.

Рассмотрим особенности построения оптической схемы предлагаемого устройства. С помощью источника когерентного излучения 1 через расширитель 2 и диффузор 3 освещен вибрирующий объект 4. Диффузор 3 имеет слабую диффузность. Для этой цели хорошо подходит обыкновенное оргстекло толщиной 3 – 4 мм. Некоторая часть излучения идет на образование спеклов внутри самого диффузора, а остальная основная часть излучения идет на освещение вибрирующего объекта 4. В результате с помощью диафрагмы 5 и объектива 6 на фотодиодную матрицу телекамеры 7 попадают спекл – структура диффузора 3 и спекл – структура, образованная рассеянием излучения от поверхности вибрирующего объекта 4. Расстояние между диффузором 3 и исследуемым вибрирующем объектом 4 в случае использования гелий – неонового лазера выбирается около 10 - 20 мм. Объектив 6 совмещает волновые фронты от диффузора 3 и от вибрирующего объекта 4, в результате чего на матрице телекамеры происходит интерференция этих волновых фронтов. Телекамера 7 должна быть расположена как можно ближе к оптической оси. В случае, когда расстояние от телекамеры 7 до

Жужукин Анатолий Иванович, инженер-конструктор. Тел. (846) 950-57-94.

Солянников Виктор Анатольевич, кандидат технических наук, начальник КНИО. Тел. (846) 950-73-09, 950-11-81



Рис. 1. Оптическая схема корреляционного спекл – интерферометра:
1 – лазер; 2 – расширитель пучка, 3 – диффузор; 4 – вибрирующий объект;
5 – диафрагма объектива, 6 – объектив телекамеры; 7 – телекамера; 8 – персональная ЭВМ;
9 – механизм по перемещению диффузора

исследуемого объекта 4 значительно превышает линейные размеры исследуемого объекта, можно считать, что интерферометр будет чувствителен преимущественно к колебаниям из плоскости объекта 4. Для осуществления метода корреляционной спекл-интерферометрии путем вычитания изображений продольным перемещением диффузора 3 между экспозициями необходимо изменить фазу спеклов в узлах вибрирующего объекта 4 на 180°.

Продольное смещение диффузора 3 в работе [4] осуществлялось с помощью электромагнитного механизма.

Яркость результирующей спекл – интерферограммы, наблюдаемой на экране монитора описывается выражением [6]:

$$\Delta B(x, y) = 4b \left\{ \sqrt{\mathbf{I}_r(x, y) \cdot \mathbf{I}_s(x, y)} \cdot I_s(x, y) \right\}$$
$$\cdot I_0 \left[\overline{A}(x, y) \cdot \overline{K}(x, y) \right] \cdot \cos[\varphi_r(x, y) - \varphi_s(x, y)] \left\}, (1)$$

где *b* - коэффициент, зависящий от телекамеры и системы ввода;

 $I_{s}(x, y), \varphi_{s}(x, y)$ – интенсивность и фаза предметного пучка, т.е. пучка идущего от исследуемого объекта;

 $I_r(x, y), \varphi_r(x, y)$ – интенсивность и фаза опорного пучка, т.е. пучка идущего от диффузора;

 $I_0 - функция Бесселя первого рода нулево$ го порядка;

A(x, y) – вектор амплитуды колебаний в точке (x, y);

K(x, y) – вектор чувствительности интерферометра в точке (x, y);

Величины

 $I_{s}(x, y), I_{r}(x, y), \varphi_{s}(x, y), \varphi_{r}(x, y)$ в этом случае носят случайный характер.

Как видно из выражения (1), спекл-шумы имеют мультипликативный характер, что озна-

чает что они не могут быть отфильтрованы с помощью частотного фильтра [7]. Для увеличения соотношения сигнал/шум с помощью установки на рис. 1 реализован метод цифрового интегрирования постоянного сигнала и флуктуационной помехи. Известно, что осреднение N результатов измерения постоянной величины, выполненных с интервалом, превышающим интервал корреляции шума, снижает дисперсию среднего в N раз [8].

Изображение, описываемое формулой (1), запоминает персональная ЭВМ 8. Затем с помощью механизма 9, диффузор 3 перемещается в направлении перпендикулярном оптической оси на величину, превышающую максимальный поперечный размер спекла (около 100 мкм), и снимается вторая спекл-интерферограмма и также заносится в память персональной ЭВМ 8.

Процесс повторяется N раз. После N смещений диффузора в памяти персональной ЭВМ 8 записано N спекл – интерферограмм.

Затем персональная ЭВМ 8 усредняет N спекл – интерферограмм, в результате чего на усредненной спекл – интерферограмме соотношение сигнал/шум возрастет в \sqrt{N} раз. Усредненная результирующая спекл – интерферограмма будет иметь высокое разрешение за счет снижения уровня шумов.

Особенно эффективно эта схема работает при использовании метода описанного в [9], когда фазовый сдвиг реализуется за счет нестабильности оптических элементов из – за случайных колебаний оптического стола. При этом спекл – интерферограмма также будет описываться выражением (1). В работе [9] этот метод реализован для стандартной оптической схемы с гладким опорным пучком, но он хорошо подходит и для описываемой схемы, изображенной



Рис. 2. Спекл – интерферограммы вибрирующей на частоте f = 2189 гц лопатки компрессора ГТД, полученные методом цифрового интегрирования

на рис.1. В этом случае расстояние между диффузором 3 и вибрирующем объектом 4 меняется случайным образом из – за естественного уровня случайных колебаний и шума в городских условиях. Важным в этом случае является условие, чтобы кронштейн для крепления диффузора 3 имел максимальную жесткость в направлениях перпендикулярных оптической оси устройства, для того чтобы диффузор 3 колебался только вдоль оптической оси. Спекл – интерферограмма колеблющегося объекта получается в результате статистической обработки спекл – изображений объекта, зарегистрированных в условиях вибрационной нестабильности оптической схемы. Затем также с помощью механизма 9 диффузор 3 смещается в направлении перпендикулярном оптической оси на величину, превышающую поперечные размеры спекла. Таким же образом регистрируются N спекл – интерферограмм. Персональная ЭВМ 8 запоминает каждое изображение, затем суммирует и усредняет.

На рис.2 приведены спекл – интерферограммы вибрирующей лопатки компрессора, полученные на установке (см. рис.1.) в условиях механической нестабильности. Фазовый сдвиг осуществляется за счет случайных колебаний диффузора 3 вдоль оптической оси.

На рис.2 представлен также увеличенный фрагмент спекл-интерферограммы, на котором вилны корреляционные полосы и спекл-шумы. Увеличение фрагмента производилось оптическим путем и равнялось примерно 6. На фрагменте видно как с ростом N увеличивается контраст корреляционных полос и уменьшается уровень шумов. Это позволяет сделать вывод, что метод цифрового интегрирования, реализованный путем усреднения по большому числу кадров, является эффективным методом по борьбе со спекл-шумами. Описанная установка позволяет реализовывать этот метод в производственных и стендовых условиях и получать спекл-интерферограммы с высоким разрешением при измерении вибраций. Для сокращения времени испытаний процесс записи спекл – интерферограмм с высоким разрешением может быть легко автоматизирован.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

 Еленевский Д.С. Поузловая отработка вибропрочности лопаток турбины ГТД// Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. – КуАИ, 1981 г., Вып 8. – С. 29.

- Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982.
- 3. *Еленевский Д.С., Шапошников Ю.Н.*. Лазерно компьютерная система анализа спекл-интерферограмм вибрирующих объектов//Известия Самарского центра РАН. 1999. № 1. – С.134 – 136.
- Жужукин А.И. Устройство для исследования форм колебаний. Патент РФ № 71429 G 01 H 9/00. Опубликовано 10.03.2008. Бюл. №7.
- 5. *Баданин А.П., Жужукин А.И*. Устройство для исследования форм колебаний. Патент РФ № 78930 G 01 Н 9/00. Опубликовано 10.12.2008. Бюл. № 34.
- Применение методов голографической и спекл-интерферометрии для исследования вибрации и шума механических конструкций: Учебное пособие / Под редакцией академика В.П. Шорина. СГАУ. Самара, 2005. – С. 143.
- Батькович В.В., Буденкова О.Н., Константинов В.Б., Садов О.Л., Смирнова Е.А. О получении распределения температур в жидкости и твердом теле с помощью голографической интерферометрии // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 6. – С. 110.
- Козачок А.Г. Голографические методы исследования в экспериментальной механике. – М.: Машиностроение, 1984. – С. 146.
- Помехоустойчивый интерферометр для автоматизированной диагностики объектов / О.А. Журавлев, С.Ю. Комаров, Ю.Н. Шапошников, Ю.Д.Щеглов // Сб. докл. Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика Н.Д.Кузнецова. Самара, 2001. – С.159-164.

VIBROMEASURING SET – UP PROVIDING HIGH RESOLUTION SPECKLE INTERFEROGRAMS

© 2009 A.I. Zhuzhukin, V.A. Solaynnikov

Scientific and Technical Complex named after N.D. Kuznetsov, Samara

Description of correlating speckle – interferometer structure with speckle pattern of object beam and reference beam is given in the article. The reference wave used is taken from the phase object placed before the analysed object. Method of multi - picture area is selected for signal/noise relation improvement.

Key words: vibration measurement, speckle - interferometry, laser speckle, speckle - noise. filtering

Anatoly Zhuzhukin, design engineer. Tel. (846) 950-57-94 Victor Solyannikov, Candidate of Technics, Head of KNIO. Tel. (846) 950-73-09, 950-11-81