

## ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБОМАШИН

Жужукин А.И.

ПАО «КУЗНЕЦОВ», г. Самара, cntkknio@yandex.ru

*Ключевые слова: формы колебаний, спекл-интерферометрия.*

При разработке и доводке турбомашин одной из главных проблем является обеспечение вибрационной прочности их лопаточного аппарата. И здесь одной из ключевых задач, во многом определяющих эффективность доводки, является исследование вибрационных характеристик рабочих лопаток компрессора и турбины. Хотя набор частот и форм колебаний отдельной лопатки является важной характеристикой, при объяснении процессов, происходящих в лопатках, необходимо учитывать также принадлежность лопатки к колесу, иначе во многих случаях сложно будет определить, по какой форме колебаний системы «диск-лопатки» или «диск-лопатки-бандаж» реализуются максимальные напряжения в лопатках колеса. Результаты численного расчёта здесь в большинстве случаев недостаточно, так как в реальных рабочих колёсах при их изготовлении всегда возникают малые отличия лопаток, вызванные технологическими допусками на их изготовление, неоднородностью материала, разной посадкой в замках и т.д. Причём все вышеназванные отклонения носят случайный характер. Это приводит к нарушению циклической симметрии (расстройке) и в конечном итоге к расслоению спектра колебаний, что усложняет трактовку результатов тензометрирования.

Экспериментальные исследования колебаний рабочих колес с расстройкой показали, что даже небольшая расстройка всегда увеличивает максимальную амплитуду колебаний при резонансе и может привести к возникновению резонансных напряжений, которые выше чем максимальные напряжения настроенной системы на 20% и больше [1].

В работе [2] предлагается подход, основанный на «привязке» частот и форм колебаний рабочего колеса, исследованных предварительно на голографическом стенде при отсутствии вращения, к пикам спектральных составляющих тензометрирования при стендовых испытаниях. При этом отмечается, что перед установкой рабочего колеса в двигатель целесообразно определять экспериментально его собственные частоты и формы колебаний, что позволит более надёжно прогнозировать возникновение разного рода колебаний при его работе в составе двигателя.

В связи с этим, для исследования колебаний облопаченных колес разработана спекл-интерферометрическая установка с двумя телекамерами на основе оптической схемы интерферометра с разделёнными ветвями и гладкой опорной волной (рис. 1). При этом использован принцип разделения пучка по волновому фронту, что вызвано тем обстоятельством, что излучение используемого твердотельного лазера SLM-417-50 имеет горизонтальную поляризацию. Оптическая схема и исследуемый объект размещены на голографической платформе размером 3×5 м, массой 14 т, находящейся на каучуковых подушках.

Результаты, полученные с помощью описанного спекл-интерферометра, в дальнейшем были использованы при трактовке результатов, полученных во время стендовых испытаний ГТД. Проведена привязка форм колебаний отдельной лопатки к графику спектра амплитудных переменных напряжений на основании близости частот.

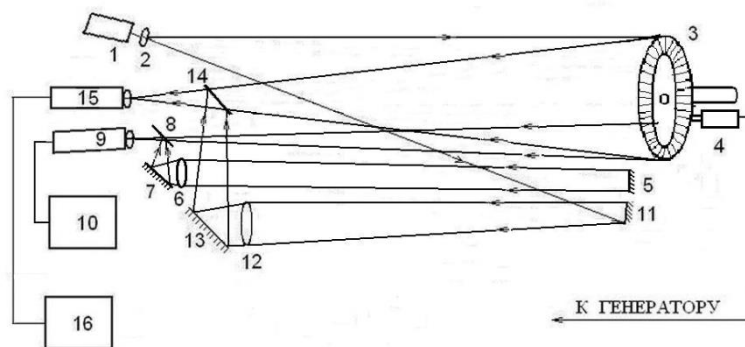


Рис.1 – Оптическая схема спекл-интерферометра для исследования колебаний облопаченных колес:  
 1 – лазер; 2 – расширитель пучка; 3 – исследуемый объект; 4 – электродинамический вибратор;  
 5,7,11,13 – поворотные зеркала; 6,12 – линзы; 8,14 – полупрозрачные пластины; 7 – поворотное зеркало;  
 8 – плоскопараллельная пластина; 9,15 – телекамеры; 10,16 – персональные компьютеры

Показано, что действие центробежных сил наибольшее влияние оказывает на низшие частоты, причем в сторону увеличения, и значительно меньшее на высшие. Это, прежде всего, связано с тем, что центробежные силы увеличивают жёсткость на прогиб. С помощью представленной выше установки получены дисковые формы колебаний колеса компрессора, а также некоторые формы колебаний сектора лопаточного аппарата. Рассмотрен случай, когда частота дисковой формы колеса близка к резонансной частоте одиночной лопатки.

### Список литературы

1. Petrov E.P. Analysis of the Worst Mistuning patternst in Bladed disk Assemblies / E.P. Petrov, D.J. Ewins// Journal of Turbomachinery. 2003. Vol. 125. P. 623-631.
2. Селезнёв В.Г. Особенности анализа результатов стендовых испытаний рабочих колёс турбомашин / В.Г. Селезнев, Ю.И. Павлов, О.И. Ильинская // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2015. №1. С.93–100.

### Сведения об авторе

Жужукин Анатолий Иванович, канд. техн. наук, инженер по испытаниям. Область научных интересов: голографическая и спекл-интерферометрия, экспериментальное исследование форм колебаний деталей турбомашин.

## APPLICATION OF SPECKLE – INTERFEROMETRY IN THE ANALYSIS OF VIBRATIONS OF THE BLADED WHEELS FORTURBOMACHINE

Zhuzhukin A.I.

PJS Company “Kuznetsov”, Samara, cntkknio@yandex.ru

*Keywords: vibration modes, speckle-interferometry.*

A speckle interferometer with two cameras has been developed for the simultaneous recording of wheel disk vibration modes as well as the compressor blade vibration modes in the wheel sector. By using the obtained results, it is shown that the real, compressor, bladed wheels have cyclic asymmetry in the mode shape of blades (mistuning). The case of coincidences between the bladed wheel disk frequency and resonant frequency of single blade is analyzed.