

УДК 621.438

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССТРОЙКИ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Жужукин А.И., Непеин К.Г.

ПАО «ОДК – Кузнецов», Самара, Россия, cntkknio@yandex.ru

*Ключевые слова:* виброметрия, собственная частота, формы колебаний рабочих колёс, спекл-интерферометрия.

В представленном исследовании для регистрации форм колебаний рабочих колёс ГТД использовался метод корреляционной спекл-интерферометрии (ESPI). В качестве примера приведены формы колебаний рабочего колеса компрессора. Установлено, что колебания рабочих колёс с нарушениями поворотной симметрии происходят с искажениями гармонического закона распределения смещений по окружности. Обнаружены также формы колебаний с признаками локализации.

Надёжность и ресурс газотурбинных двигателей во многом определяется прочностью и надёжностью рабочих колёс, так как в процессе эксплуатации их лопаточный аппарат подвергается сильному воздействию со стороны газового потока. Предотвращение вибрационных дефектов лопаточного аппарата прежде всего связано с решением таких проблем, как повышение достоверности определения действительных напряжений лопаточного аппарата при тензометрировании, исследование разброса вибронапряжений по лопаткам, а также выявление причин этого разброса.

В настоящее время для исследования вибрационного состояния рабочих колёс в большинстве случаев используется численный анализ с помощью программного комплекса ANSYS. При расчётах принято считать, что конструкция абсолютно симметрична, нарушения поворотной симметрии малы и влияют на результат незначительно.

Однако в реальных рабочих колёсах при изготовлении и эксплуатации всегда имеются малые отличия лопаток друг от друга. Эти малые отличия называются расстройкой параметров (mistuning). Причинами расстройки колебаний рабочих колёс могут быть различия по массе и геометрии, вызванные допусками производства размеров лопатки и диска, неоднородностью характеристик материала лопаток и диска, различными уровнями демпфирования в замках, возникающими вследствие технологических несовершенств при сборке колеса. Все эти отклонения носят случайный характер, что делает расчёт колебаний рабочего колеса с учётом расстройки крайне затруднительным. Численные методы чаще всего используются для моделирования влияния различных видов расстройки на колебания рабочих колёс. При этом требуются значительные вычислительные ресурсы.

Вместе с тем, колебания промышленных рабочих колёс в значительной степени зависят от сборки, ввиду того, что при одном и том же наборе рабочих лопаток в зависимости от их расположения в колесе, а также уровня демпфирования каждой конкретной лопатки в замке, распределение напряжений на лопатках будет меняться. Поэтому наиболее достоверную информацию о колебаниях реального рабочего колеса можно получить экспериментальными методами.

В данной работе используется спекл-интерферометрический экспериментальный метод, который, обладая такими достоинствами голографической интерферометрии как панорамность и бесконтактность, менее трудоёмок. При этом требования к виброзащищённости оптической схемы значительно ниже. С помощью разработанной на предприятии установки проведены исследования колебаний рабочего колеса компрессора авиационного двигателя. Размер диаметра диска с лопатками составляет порядка 900 мм, высота лопаток 120 мм. Лопаточный аппарат колеса состоит из 64 лопаток (рис. 1).

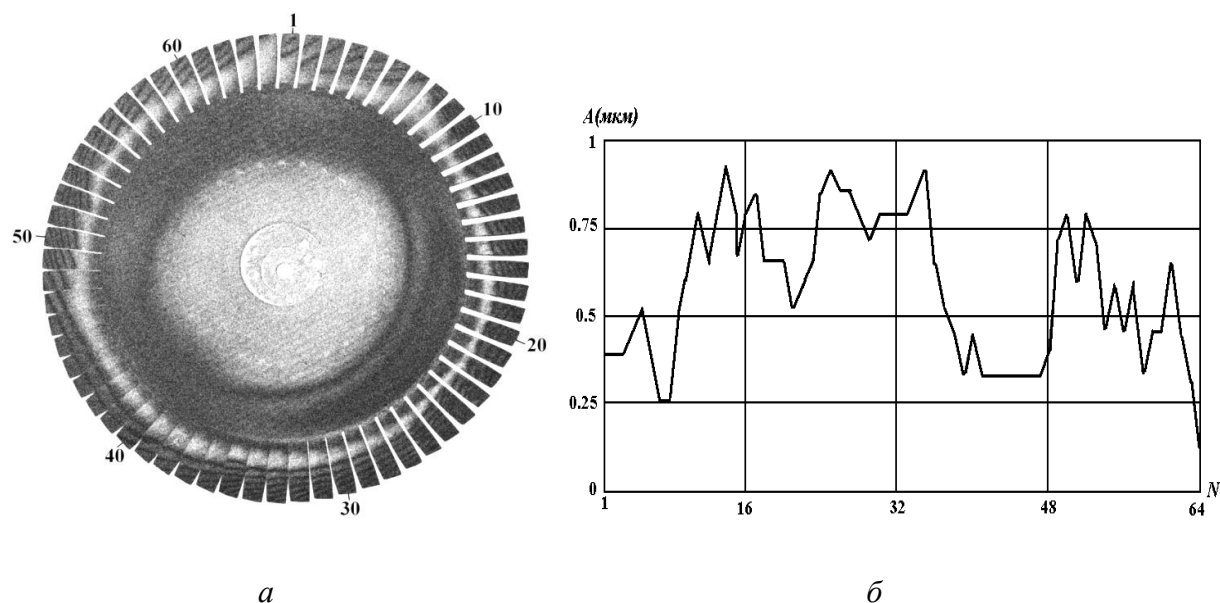


Рис. 1. Расстроенные колебания колеса компрессора на частоте 380 Гц по форме четыре диаметра:  
а – спекл-интерферограмма; б – график амплитуд смещений торцов лопаток

На рис. 1:  $A$  (мкм) – амплитуда колебаний;  $N$  – номер лопатки. Лопатки на рис. 1а видны со стороны корыта. Вследствие расстройки параметров колебаний число узловых диаметров выражено нечётко. По спекл-интерферограмме, представленной на рис. 1а, вычислены амплитуды колебаний торца каждой лопатки со стороны входной кромки и построен график (рис. 1б).

При колебаниях рабочего колеса по диаметральной форме, приведённой на рис. 1, распределение деформаций лопаточного аппарата носит негармонический характер, и, как следует из графика на рис 1б, амплитуды колебаний на близкорасположенных лопатках могут отличаться в несколько раз. Необходимо учитывать, что при одном и том же наборе лопаток вид этого графика изменится при другом расположении лопаток в колесе во время сборки.

В ходе дальнейших исследований были обнаружены признаки расстройки и на формах колебаний колеса, принадлежащих к другим семействам. На некоторых формах обнаружена локализация колебаний, когда колеблются несколько лопаток с высокой амплитудой, а остальные лопатки в колебаниях не участвуют.

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VIBRATION MISTUNING FOR THE BLADED WHEELS OF GAS TURBINE ENGINES**

Zhuzhukin A.I., Nepein K.G.

PJSC “UEC - Kuznetsov” Samara, Russia, cntkknio@yandex.ru

*Key words: vibrometry, natural frequency, vibration modes of the bladed wheels, speckle interferometry.*

In the presented study, for vibration modes recording for the bladed wheels of gas turbine engines (GTE) the method of electronic speckle pattern interferometry (ESPI) was used. As an example, the vibration modes of the compressor bladed wheel are given. It has been revealed that vibration of the bladed wheel with rotational symmetry violation leads to distortions in harmonic law of vibration displacement distribution. The vibration forms of the bladed wheel with localization were also detected.