

кромочных следов при изменении угла и шага при работе двигателя на максимальном режиме (данные получены расчётным путём при подстановке в известное соотношение полученных массивов углов и шагов. Здесь по оси Y представлена относительная амплитуда). Переход во временную область последовательностей отклонений параметров и соответствующий расчет по алгоритму БПФ выполнен для частоты вращения ротора низкого давления 87 Гц.

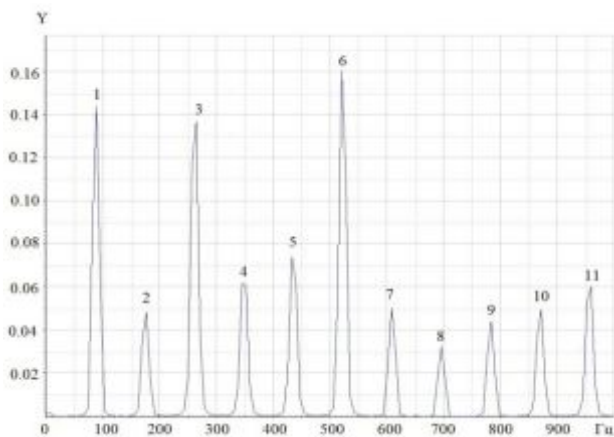


Рис. 1. Автоспектр последовательности максимальной интенсивности кромочных следов при изменении угла и шага

Полученные данные весьма близки к результатам анализа влияния угла. Таким

образом можно заключить, что для рассматриваемого случая решающим фактором, определяющим возможность возбуждения аэродинамического дисбаланса, являются новые углы установки пера лопаток под воздействием центробежных и газовых сил при работе двигателя. При этом диагностическим признаком наличия аэродинамического дисбаланса является модуляция лопаточной гармоники вентиляторного колеса рядом  $kf_p$  с преобладанием нечётных гармоник.

Полученные результаты подтверждены данными испытаний двигателя с наличием аэродинамической неуравновешенности первого вентиляторного колеса.

#### Библиографический список

1. Киселёв Ю.В. Исследование влияния неоднородности рабочего колеса вентилятора на структуру вибрационных процессов. // Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов. – Куйбышев: КУАИ, 1986. С. 76-81.

2. Идельсон А.М., Купцов А.И. Упругая деформация лопаток вентилятора как фактор, влияющий на аэродинамический дисбаланс // Вестник СГАУ, Самара: 2006. №2. С. 25-30.

УДК 621.51.226.2.53

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРОВ ПРИ КАСАНИИ О ПРИРАБАТЫВАЕМОЕ ПОКРЫТИЕ

©2016 С.Ю. Данилкин, В.В. Шкуров, А.Л. Кураков

Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, г. Москва

### RESEARCH OF THE COMPRESSOR BLADES VIBRATIONAL LOADING AT THE TOUCH OF THE ABRADABLE COATING

Danilkin S.Y., Shkurov V.V., Kurakov A.L. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

*The work present results of rotor blades vibrational loading experimental studies of advanced engines compressors at the touch of the abrasible coating. It has been shown that in certain cases the individual blades experience strong vibrational excitation of touching them abrasible coating, wherein the time amplitude of the vibration stress can increase. Has been studied mechanisms of blade vibrations detected diagnostic features touching the blades of the abrasible coating and offered recommendations to ensure the strength of the vibration vane compressors during bench testing.*

Постоянное стремление к повышению газодинамических параметров перспективных компрессоров авиационных газотурбин-

ных двигателей (ГТД) приводит к неизбежному уменьшению радиального зазора между рабочими лопатками и корпусом, что по-

вышает вероятность возникновения проблем, связанных с касанием роторных и статорных деталей на некоторых режимах работы двигателя. Для исключения задевания лопаток о жёсткий корпус на внутреннюю часть корпуса обычно наносят прирабатываемое покрытие, но даже при касании об это покрытие в лопатках может возникнуть высокий уровень вибрационных напряжений с возможным последующим усталостным разрушением.

Для решения проблемы предотвращения разрушений лопаток ГТД от многоциклового усталости при касании был выполнен анализ экспериментальных данных, полученных в процессе проведения специальных стендовых испытаний компрессоров. Испытания проводились при атмосферных условиях на стационарных режимах работы компрессоров. Влияние нестационарных тепловых режимов работы на изменение радиальных зазоров в настоящей работе не рассматривается, а предполагается, что они могут быть определены расчётными методами.

Проведённый анализ результатов исследований показал, что колебания рабочих лопаток при их касании о прирабатываемое покрытие имеют много общего с вынужденными колебаниями от входной окружной неравномерности потока. В результате спектрального анализа сигналов с тензометров установлено, что спектральные составляющие с максимальными амплитудными значениями имеют частоты, кратные частоте вращения ротора компрессора. Обработка сигнала во временной области позволила выявить существенные отличия в характере колебаний. При резонансных колебаниях лопаток от окружной неравномерности потока

сигнал с тензодатчика на лопатке имеет синусоидальную форму с постоянной амплитудой, а при касании лопаток форма сигнала обычно имеет вид затухающей синусоиды на интервале от одного момента касания до следующего касания.

Проведённое исследование показало, что в определённых случаях отдельные лопатки испытывают сильное вибрационное возбуждение при их касании о прирабатываемое покрытие. С течением времени амплитуда вибрационных напряжений может возрастать. Данное увеличение уровня вибрационных напряжений обусловлено тем, что при постоянной частоте вращения периодическое воздействие на лопатку от её касания о покрытие синфазно с колебательным движением самой лопатки, что, в конечном счёте, и обеспечивает постоянное увеличение амплитуды колебаний после каждого оборота ротора. Очевидно, что приведённый случай демонстрирует опасность касания лопаток о прирабатываемое покрытие, так как за очень короткий промежуток времени уровень вибрационных напряжений может достигнуть пределов усталости, что приведёт к поломке лопатки.

В результате проведённых исследований механизмов возникновения колебаний лопаток выявлены диагностические признаки касания лопаток о прирабатываемое покрытие при испытаниях компрессоров. Для предотвращения разрушений лопаток ГТД предложены рекомендации по обеспечению вибрационной прочности лопаток при их касании о прирабатываемое покрытие в процессе проведения стендовых испытаний.

УДК 621.431

## **ОПЫТ "ОКБ ИМ. А. ЛЮЛЬКИ" ПО РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАНЕВРЕННОЙ АВИАЦИИ**

©2016 Е.Ю. Марчуков, И.Н. Егоров

Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки (филиал ОАО «УМПО»), г. Москва

## **THE EXPERIENCE OF "LYULKA DESIGN BUREAU" ON THE DEVELOPMENT OF MODERN MANEUVERABLE AIRCRAFT ENGINES**

Marchukov E.Yu., Egorov I.N. (Lyulka Design Bureau, Moscow, Russian Federation)

*The present level of engine development includes the active use of modern computing technologies that are in varying degrees integrated into the technological process of modern GTE creation. The central role in the development the engine of 5-th generation is the problem of his appearance form. In this traditional approach, propulsion design*