

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕТНЫХ ЦИКЛОВ НАГРУЖЕНИЯ ДИСКА КОМПРЕССОРА С УЧЕТОМ ОТРЫВНОГО ОБТЕКАНИЯ ЛОПАТОК

Н.Г. Бураго<sup>1</sup>, А.Б. Журавлев<sup>1</sup>, И.С. Никитин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, Москва

<sup>2</sup> ИАП РАН, Москва

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние контактной системы титанового диска и лопаток компрессора газотурбинного двигателя в полетном цикле нагружения. Эти результаты в дальнейшем использованы для оценки долговечности эксплуатации в рассматриваемом малоцикловом усталостном процессе.

Натурные наблюдения показывают, что зарождение и развитие усталостных трещин происходит в зоне контакта диска и лопаток [1]. Определение очагов зарождения усталостных трещин в дисках и лопатках требует подробного описания полей напряжений и зон их концентрации. Поэтому в рассматриваемом случае следует знать детальное распределение давлений по поверхности лопаток, центробежных объемных сил в диске и лопатках, условий их контактного взаимодействия. Ранее для расчета трехмерного напряженно-деформированного состояния была создана конечноэлементная модель реальной конструкции диска компрессора [2,3] и были проведены расчеты полетных циклов нагружения. При этом учитывались центробежные нагрузки на диск и лопатки, аэродинамические нагрузки на лопатки, приводящие к ее дополнительным изгибам и контактными напряжениям в зоне соединения с диском.

С помощью современных конечно-элементных пакетов возможно совместное решение газодинамической и прочностной задач. Однако в данном случае такой подход признан нецелесообразным, так как в условиях сложной трехмерной геометрии вынужденно пришлось бы использовать слишком грубые сетки, не дающие решения достаточной точности. Поэтому для расчета аэродинамических давлений на лопатки на первом этапе были получены аналитические формулы с использованием гипотезы изолированного профиля [4] и известных решений задач о безотрывном обтекании решетки профилей [5]. Поскольку локальный и переменный по радиусу из-за больших скоростей вращения угол атаки профиля лопатки может принимать произвольные закритические значения, то предположение о безотрывном обтекании и соответствующие распределения давлений на них являются неточными.

Для более реалистичного описания ситуации были использованы решения, соответствующие отрывному обтеканию решетки профилей в дозвуковом потоке [6], и введены в расчетную модель для нагрузок на контактную систему диска и лопаток. Параметры предельного состояния цикла соответствовали скорости полета 200 м/с, частоте вращения 3000 об/мин. Учитывались аэроупругие эффекты, связанные с изменением формы конструкции при ее взаимодействии с набегающим потоком. Показано, что при учете отрывного обтекания возникают большие изгибные смещения лопаток и соответствующие им контактные напряжения в соединении диска и лопаток. Получены оценки долговечности в виде предельного безопасного числа полетных циклов нагружения на основе современных моделей многоосного усталостного разрушения по напряженному состоянию, по деформированному состоянию и по накопленной повреждаемости.

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ 12-08-00366-а, 12-08-01260-а.

### Литература

1. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. - Уфа. Изд-во научно-технической литературы «Монография». 2007. 498с.
2. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Анализ напряженного состояния контактной системы «диск-лопатка» газотурбинного двигателя. // Вычисл. мех. сплош. сред. 2011. Т. 4. № 2. С. 5-16.
3. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Модели многоосного усталостного разрушения и оценка долговечности элементов конструкций. // Изв. РАН. МТТ. 2011. №6. С. 22-33.
4. Мхитарян А.М. Аэродинамика. М.: Машиностроение. 1976. 447с.
5. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч.1. М.: Физматгиз. 1963. 584с.
6. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин. М.: Физматгиз. 1962. 512с.