

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕЖИМОВ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДИСКА КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Н.Г. Бураго¹, А.Б. Журавлев¹, И.С.Никитин²

¹Москва, ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского,
8-495-434-41-35, buragong@yandex.ru

² Москва, МАТИ им. К.Э.Циолковского

" Математическое моделирование технических систем
и технологических процессов "

Данное исследование посвящено математическому моделированию усталостного разрушения титановых дисков компрессора газотурбинного двигателя в эксплуатации.

Для определения трехмерного напряженно-деформированного состояния (НДС) создана конечноэлементная расчетная модель реальной конструкции диска компрессора. Проведены расчеты НДС в полетных циклах нагружения (малоцикловая усталость) с учетом центробежных и аэродинамических нагрузок, контактных взаимодействий составляющих элементов (диска, лопаток, фиксирующих штифтов, бандажных полок). 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. Результаты расчета НДС использованы для реализации ряда моделей усталостного разрушения, с помощью которых определены зоны зарождения усталостных трещин и получены оценки числа полетных циклов безопасной эксплуатации элементов контактной системы компрессора. Проведено сравнение оценок долговечности по напряженному состоянию, по деформированному состоянию и по накопленной повреждаемости.

Дополнительно исследовался альтернативный механизм усталостного нагружения, связанный с наблюдаемыми высокочастотными осевыми колебаниями бандажных полок (гигацикловая усталость). Амплитуда колебаний принималась равной ± 1 мм при частоте вращения 3000 об/мин. Также получены оценки долговечности в виде пространственного распределения по конструкции предельного числа вибраций, при котором выполняется критерий разрушения. В отсутствие экспериментально обоснованных моделей многоосной усталости в данном режиме, применялись известные критерии многоосного малоциклового усталостного разрушения. Параметры для них определялись с учетом немногочисленных данных одноосных гигацикловых испытаний.

Зоны зарождения усталостного разрушения в обоих случаях малоциклового и гигациклового усталости близко расположены и приблизительно совпадают с

наблюдаемыми при эксплуатации, а интегральная оценка долговечности в реальном времени составляет 20000 – 50000 полетных циклов. Это указывает на альтернативный характер возможных механизмов усталостного разрушения рассмотренного типового элемента компрессора.

С целью контроля, проверки и подтверждения полученных результатов дополнительно решены две модельные задачи теории упругости о нагружении кольцевого диска.

В первой задаче к диску приложена центробежная нагрузка, а на внешнем контуре действует переменное по углу радиальное напряжение, моделирующее центробежную нагрузку от лопаток и согласованное с ней по амплитуде и интегральному влиянию (аналог режима малоциклового усталости).

Во второй задаче решается бигармоническое уравнение для изгиба кольцевого диска под действием переменных по углу крутящих моментов на внешнем контуре. Эти моменты моделируют влияние колебаний лопаток и определяются из решения задачи о кручении пластины на заданный угол (аналог режима гигацикловой усталости). Далее определяется напряженное состояние с учетом центробежных нагрузок на диск.

Решения модельных задач качественно согласуются с результатами расчета полной контактной системы методом конечных элементов и их можно применять для экспресс-анализа, но для уточнения количественных оценок численное моделирование необходимо.

Сравнение оценок долговечности по моделям малоциклового и гигациклового усталости показывает, что усталостное разрушение в этих режимах может происходить за период реального времени одного масштаба.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы, а также проектов РФФИ 12-08-00366-а, 12-08-01260-а.