

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДИСКА КОМПРЕССОРА В ПОЛЕТНЫХ ЦИКЛАХ НАГРУЖЕНИЯ.

Н.Н. Беклемишев¹, Н.Г.Бураго², А.Б.Журавлев², И.С.Никитин¹

¹*МАТИ – Российский государственный технологический университет*

им. К. Э. Циолковского, Москва

²*Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, Москва*

Данная работа посвящена исследованию усталостного разрушения дисков компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) и оценки их долговечности, связанной с полетными циклами нагружения. Разработана расчетная модель контактной системы диска и лопаток компрессора ГТД с учетом центробежных сил, распределенных аэродинамических нагрузок и нелинейных контактных условий. Изучено влияние различных факторов нагружения и контактных условий на формирование зон концентрации напряжений в окрестности соединения диска и лопатки.

В настоящее время формально существуют возможности решения связанной трехмерной задачи газодинамики и механики деформируемого твердого тела на основе современных прикладных программных пакетов. Однако недостаточное быстродействие ЭВМ делает такое решение труднодостижимым. Поэтому в данной работе анализ напряженно-деформированного состояния контактной системы диска и лопаток компрессора выполняется численно с помощью конечно-элементного пакета программ Cosmos/SolidWorks, а распределенные аэродинамические нагрузки определяются приближенно аналитически с использованием классических решений об обтекании решетки пластинок под произвольным углом атаки, полученных методами ТФКП на основе гипотезы изолированного профиля.

Расчет проводится в два этапа. На первом этапе на грубой сетке при упругом поведении материала рассчитываются деформации целого диска компрессора вместе с лопатками (Рис. 1), в результате определяются перемещения на границе сектора диска с одиночной лопаткой (Рис. 2). На втором этапе проводится уточненный расчет сектора диска с одной лопаткой на измельченной сетке с учетом эффектов пластичности при заданных граничных перемещениях, рассчитанных на первом этапе. В расчетах учитывались цилиндрические штифты, фиксирующие соединение каждой лопатки с диском

(на рисунках не видны), и бандажная полка (тонкая пластина, перпендикулярная верхней части лопатки).

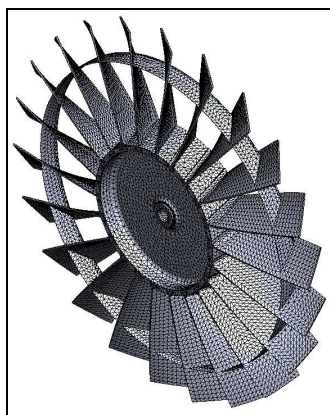


Рис.1

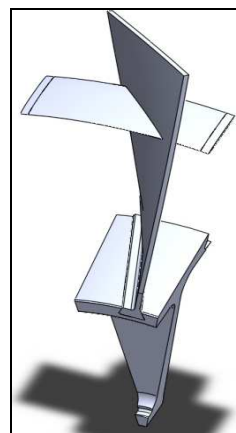


Рис. 2

Взаимовлияние аэродинамических нагрузок и деформированного состояния системы диска и лопаток учитывается на обоих этапах в итерационном процессе поочередного уточнения нагрузок и деформированного состояния. Расчеты показывают, что для достижения приемлемой точности порядка 1% требуется 3-4 итерации.

Уточнение величины нагрузки приводит к уменьшению перемещений и, таким образом, к меньшему изгибу лопатки. Эффект взаимовлияния деформации лопаток и аэродинамической нагрузки становится более заметным при более высоких скоростях обтекания, угловых скоростях вращения и при больших углах разворота основания лопаток относительно оси вращения.

Проведены исследования влияния подкрепляющих штифтов и бандажной полки (Рис. 2) на напряженно-деформированное состояние диска и лопаток. Концентрация напряжений на контактных границах со штифтами невелика. Бандажная полка повышает жесткость рассматриваемой системы и уменьшает отклонения лопаток набегающим потоком газа.

Наиболее опасными с точки зрения зарождения усталостных трещин, являются окрестности зон контакта диска и лопаток, имеющих вид соединения типа “ласточкин хвост”. В расчетах показано, что наилучшее соответствие расчетных и экспериментально наблюдаемых зон концентрации напряжений достигается при учете возможности отлипания и проскальзывания контактных границ диска и лопаток (Рис. 3,4).

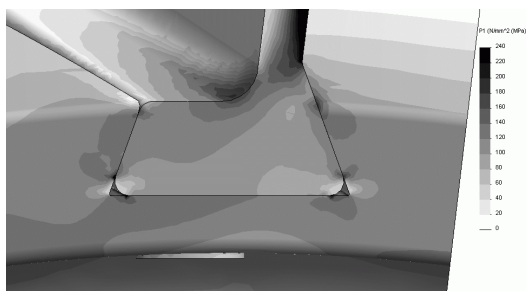


Рис. 3. Максимальное главное напряжение.
Полное сцепление.

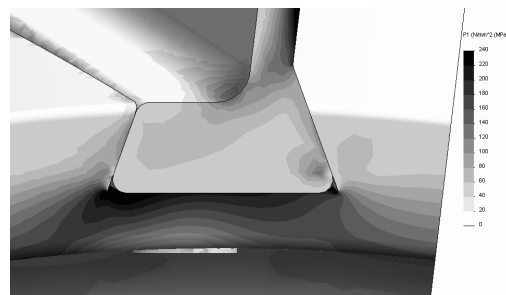


Рис. 4. Максимальное главное напряжение.
Условия малого трения.

По результатам расчета НДС с использованием критериев многоосного усталостного разрушения Socie-Marquis, Brown-Miller, Fatemi-Socie, Smith-Watson-Topper [1], обобщающих одноосный критерий Коффина-Мэнсона [2], апостериорно получены оценки долговечности рассматриваемых элементов конструкции для полетного цикла нагружения. Проведено сравнение с результатами исследований усталостных разрушений дисков двигателей серии Д30 в эксплуатации.

Более подробное изложение отдельных вопросов данной работы можно посмотреть в [3]. Исследование выполнено по планам ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы и гранта НШ-3288.2010.1.

Литература

1. Meggiolaro M.A., Miranda A.C. etc. Comparison among fatigue life prediction methods and stress-strain models under multiaxial loading. Proceedings of 19th Int. Congress of Mech. Eng. 2007, Brasilia, DF.
2. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Уфа, «Монография», 2007, 498с.
3. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С., Юшков В.С. Исследование напряженного состояния элементов конструкции ГТД. М.: ИПМех РАН, 2010, Препринт №959, 32с.