

УДК 539.3

**АЭРОУПРУГИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ЭЛЕМЕНТОВ КОМПРЕССОРА ГТД**

© 2011 г.

**Н.Г. Бураго<sup>1</sup>, А.Б. Журавлев<sup>2</sup>, И.С. Никитин<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва<sup>2</sup>Объединенный институт высоких температур РАН, Москва<sup>3</sup>МАТИ – Российский государственный технологический университет  
им. К.Э. Циолковского, Москва

buragong@yandex.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Разработана расчетная модель контактной системы диска и лопаток компрессора газотурбинного двигателя (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. С использованием современных критериев многоосного усталостного разрушения металлов, основанных на обобщенных уравнениях типа Коффина – Мэнсона, проведены оценки долговечности рассматриваемых элементов конструкции.

*Ключевые слова:* концентрация напряжений, центробежная нагрузка, аэродинамическая нагрузка, диск и лопатки компрессора, оценка долговечности, многоосное усталостное разрушение.

Настоящая работа является частью комплексного исследования усталостного разрушения дисков компрессора ГТД и оценки их долговечности, связанной с полетными циклами нагружения.

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 анализ напряженно-деформированного состояния контактной системы диска и лопаток компрессора выполняется численно с помощью конечно-элементного паке-

та 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 рас-

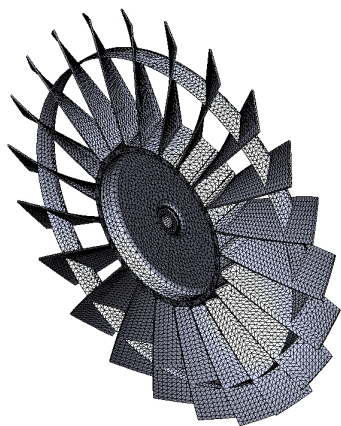


Рис. 1

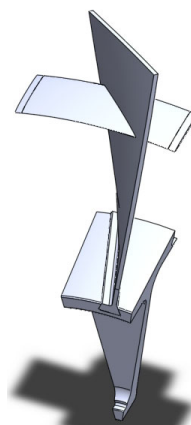


Рис. 2

чет сектора диска с одной лопаткой на измельченной сетке с учетом эффектов пластичности при заданных граничных перемещениях, рассчитанных на первом этапе. В расчетах учитываются цилиндрические штифты, фиксирующие соединение каждой лопатки с диском (на рисунках не видны), и бандажная полка (тонкая пластина, перпендикулярная верхней части лопатки).

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. На рис. 3 и 4 изображены уровни модуля вектора перемещений на деформированной форме лопатки в начале и конце итерационного процесса.

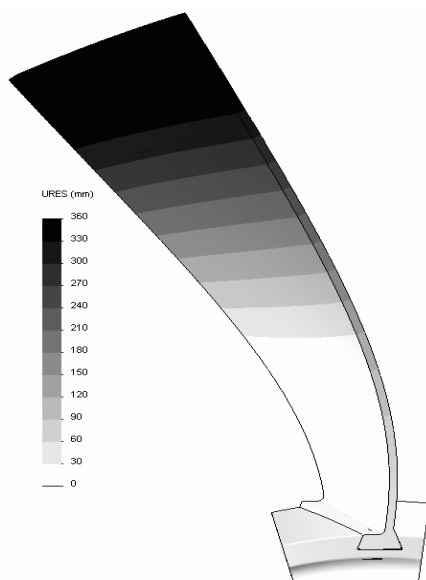


Рис. 3

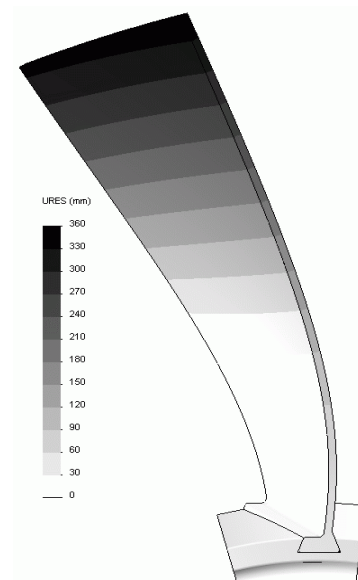


Рис. 4

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 (см. рис. 2) на напряженно-деформированное состояние диска и лопаток. Концентрация напряжений на контактных границах со штифтами невелика. Бандажная полка повышает жесткость рассматриваемой

системы и несколько 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.

По результатам расчета напряженно-деформированного состояния с использованием критерия многоосного усталостного разрушения типа Коффина – Мэнсона [1] апостериорно получены оценки долговечности рассматриваемых элементов конструкции для циклических нагружений различного типа.

Более подробное изложение отдельных вопросов данной работы можно посмотреть в [2].

*Исследование выполнено по плану ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и при поддержке гранта НШ-3288.2010.1.*

#### Список литературы

1. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Уфа: Монография, 2007. 498 с.
2. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С., Юшков В.С. Исследование напряженного состояния элементов конструкции ГТД. Препринт ИПМех РАН, №959. М., 2010. 32 с.

**AEROELASTIC ANALYSIS AND LIFETIME ASSESSMENT OF GTE COMPRESSOR ELEMENTS***N.G. Burago, A.B. Zhuravlev, I.S. Nikitin*

The numerical model of GTE compressor disk – blades contact system is developed, taking into account centrifugal forces, distributed aerodynamic loads and nonlinear contact conditions. The impact of various loading factors and contact conditions on the stress concentration zones near disk-blade junctions is investigated. Lifetime assessment for structure elements is based on multiaxial fatigue Coffin – Manson type criteria.

*Keywords:* stress concentration, centrifugal loads, aerodynamic loads, disk and blades of compressor, lifetime assessment, multiaxial fatigue.