

Рис. 3. Распределение коэффициента теплоотдачи по длине: 1 – патрубку охлажденного потока; 2 – камеры энергоразделения ($\mu = 0,48$; $\pi = 2$; водяной пар)

Коэффициент теплоотдачи при использовании пара более чем в 2 раза превышает значения α при использовании воздуха. Приведённые результаты численных и экспериментальных исследований показывают принципиальную возможность (по уровню достигаемых значений α) их использования в системах охлаждения лопаток ГТД.

Библиографический список

1. Пиралишвили Ш.А., Бирюк В.В., Веретенников С.В., Гурьянов А.И. Вихревой эффект (Технические приложения). - М.: Научтехлитиздат, 2014. Том 2 (Ч. 2). 216 с.

УДК 621.45.026.8

МЕТОДИКА РАСЧЁТА КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА ГТД, НАХОДЯЩЕЙСЯ В НЕСТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

©2016 А.О. Шкловец

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE METHOD OF CALCULATING THE FORCED RESPONSE OF GAS TURBINE COMPRESSOR BLADE IN THE UNSTEADY GAS FLOW ENVIRONMENT

Shklovets A.O. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

This article is devoted to the calculation method development of forced blades oscillations in the compressor impeller. The second goal of this research is to find out an acceptable method to reduce the level of dynamic stresses in rotor blades.

Данная работа посвящена проблеме расчёта вынужденных колебаний рабочих лопаток компрессора газотурбинного двигателя (ГТД).

Основным методом определения вибронпряжений при вынужденных колебаниях лопаток является тензометрирование на работающем двигателе. Для этого требуется специально подготовленный двигатель, лопатки которого должны быть препарированы тензорезисторами. Места расположения тензодатчиков выбираются так, чтобы на прогнозируемых из анализа резонансной диаграммы резонансных частотах и формах колебаний зарегистрировать наибольшие напряжения в лопатке. Однако важно на этапе проектирования исключить опасные резонансные напряжения в рабочем колесе, причём не всегда построение резонансной диаграммы позволяет определить потенциально

опасные режимы работы и произвести отстройку лопатки.

Для формирования методики расчёта важно решить три основные проблемы численного моделирования колебаний лопатки, находящейся в нестационарном потоке воздуха. Первой задачей является разработка конечно-элементной CFD модели компрессора, которая сможет учитывать окружающую неравномерность газового потока. Окружающая неравномерность потока является основным источником вынужденных колебаний рабочих колёс ГТД. Причинами неравномерности могут быть отбор воздуха, наличие стоек опор в тракте, отличие углов атаки от расчётных (для вентиляторных ступеней). Второй задачей является вычленение наиболее опасных возбуждающих гармоник из потока и определение динамических напряжений в пере лопатки при резонансе с этими гармониками. Такой подход существенно снижает

время расчёта и размер модели. Третьей задачей является учёт аэродинамического и конструкционного демпфирования, так как на напряжения в пере лопатке влияет амплитуда нагрузки и демпфирование в системе. В статье описано комплексное решение первой задачи, при этом демпфирование в системе задавалось на основе экспериментальных данных для рассматриваемого компрессора. Такой подход не позволяет определить реальные напряжения в лопатке на этапе проектирования, однако позволяет проводить оптимизацию системы, с целью снижения окружной неравномерности газового потока.

Для исследований была разработана полноо́кружная модель компрессора среднего давления, включающая два направляющих аппарата, рабочее колесо и опору с неравномерно расположенными стойками различной толщины (рис. 1). Модель включает 95 млн. ячеек, время расчёта на суперкомпьютере 16 часов.

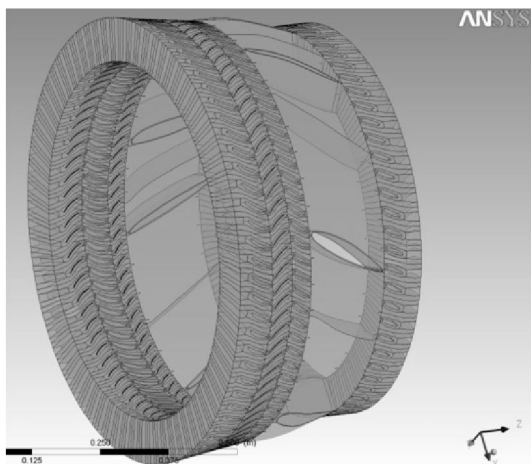


Рис. 1. CFD-модель компрессора

Целью газодинамического расчёта являлось определение давления на венце рабочих лопаток. Была разработана методика, позволяющая представить газовую нагрузку, действующую на рабочие лопатки, в виде суммы возбуждающих гармоник, которые для вращающегося колеса являются назад бегущими волнами нагрузки. При этом используется Фурье разложение в сходственных узлах лопаток. Сходственными называются узлы, лежащие на одной окружности. Для исследования влияния формы лопатки на динамические напряжения при резонансе необходимо использовать гармонический или нестационарный расчёт в прочностном программном пакете. При этом лопатка на-

гружается возбуждающей гармоникой, представленной в виде назад бегущей волны.

Были разработаны три подхода к снижению вибрационных напряжений в лопатке. Целью первых двух является снижение амплитуды определённой возбуждающей нагрузки путём изменения формы тракта компрессора. Так как источником окружной неравномерности являются стойки опоры, влияние на форму и окружное расположение стоек опоры позволяет снизить или перераспределить амплитуды возбуждающих гармоник. Разработанная методика позволяет изменять форму и угловое расположение стоек опоры с использованием так называемой суррогатной модели опоры, когда определяется распределение давления вблизи каждой стойки в окружном направлении, опора представляется в виде дискретной функции, а затем с применением программного пакета IOSO происходит изменение углового расположения стоек (изменение аргументов дискретной функции). Окончательное решение проверяется при помощи CFD расчёта.

Второй способ влияния на окружную неравномерность газового потока подразумевает изменение шага и угла установки направляющих аппаратов, находящихся перед опорой. Результатом подобной оптимизации стало двукратное снижение амплитуды опасных гармоник.

Снижение динамических напряжений в лопатке возможно достигнуть путём изменения формы лопатки с классического на так называемый профиль Шварова. На рис. 2 приведена форма профиля пера лопатки.

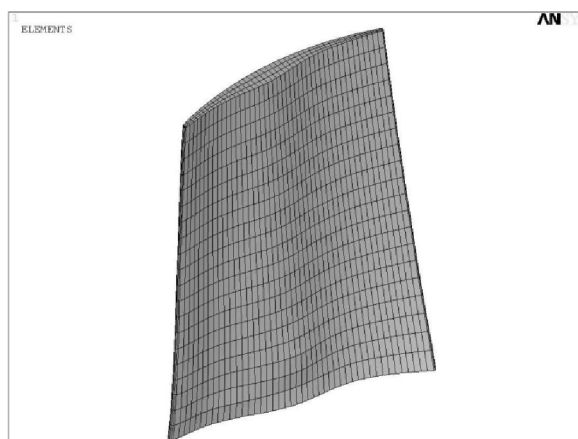


Рис. 2. Лопатка с профилем Шварова

Увеличение толщины части корытца позволяет повысить жёсткость лопатки и

снизить напряжения при резонансе примерно в 2 раза, при этом КПД такой ступени уменьшается незначительно.

Библиографический список

1. Иванов В.П. Колебания рабочих колёс турбомашин.- М.: Машиностроение, 1983. 224 с.

2 Шкловец А.О., Попов Г.М., Колмакова Д.А. Оптимизация проточной части ступени компрессора ГТД с целью обеспечения динамической прочности в рабочем лопаточном венце // Вестник двигателестроения № 2, 2013, Национальный аэрокосмический университет им. Жуковского «ХАИ», 2013. С. 192-197.

УДК 536.24

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ

©2016 С.В. Заика, Д.В. Сармин, Д.Р. Тактаев, П.А. Чертыковцев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

NUMERICAL MODELING OF THERMAL PROCESSES IN POROUS STRUCTURES

Zaika S.V., Sarmin D.D., Taktaev D.R., Chertykovtsev P.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

This article describes the numerical modeling of thermal processes in highly efficient compact heat exchangers using porous structures. For this calculation has been developed a special two-dimensional model. On the basis of the calculation has been made the conclusion about the possibility of the experiment performance.

В последние годы во многих отраслях техники, в том числе авиационной, ракетно-космической и лазерной, важной проблемой является создание компактных высокоэффективных теплообменных аппаратов различного назначения. Возникающие при этом задачи могут быть успешно решены лишь при интенсификации процессов теплообмена [1].

Одним из перспективных и эффективных способов интенсификации теплообменных процессов является использование в теплообменных устройствах пористых металлов [2]. Физическая основа этого способа заключается в высокой интенсивности теплообмена между металлическим каркасом и протекающим сквозь него теплоносителем вследствие высокоразвитой поверхности их соприкосновения и эффективного перемешивания в порах [3].

Основной целью данной работы является исследование влияния различных факторов на теплоотдачу пористых материалов.

Рассматривается комплексный подход в получении параметров геометрии конструкции и рабочего процесса расчётной модели с помощью аналитического и численного моделирования рабочего процесса.

Модель для проведения расчёта в программном комплексе ANSYS Fluent является двухмерной и представлена на рис. 1. Стоит отметить, что система является замкнутой. Давление внутри системы равняется одной атмосфере. Воздух в системе под воздействием альтернатора поступает в холодный теплообменник, вследствие чего температура воздуха падает.

Далее воздух поступает в стеклянную трубку, в которой установлена пористая вставка. После пористой вставки воздух поступает в горячий теплообменник, где температура воздуха повышается. Далее воздух попадает в ресивер. Давление в ресивере повышается, в то время как давление в полости до холодного теплообменника относительно мало.