

5. Проданов М.Е. Организация обучения в едином информационном пространстве данных об изделии // Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» 28-30 июня 2011 г., посвященной 100-летию со дня рождения Генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д. Кузнецова. Самара: СГАУ, 2011. №3. С. 374 – 379.

6. Зрелов В.А., Коротков В.А., Проданов М.Е. Концепция реализации информационного сопровождения жизненного цикла изделия на этапе послепродажного обслуживания // Насосы. Турбины. Системы. 2014. №2(11). С. 27 – 32.

7. Шустов С.А., Проданов М.Е., Безменова Н.В., Силютин М.В. Автоматизированное проектирование ЖРД с использованием САЕ/CAD/PDM - технологий [Электронный ресурс]: электрон. уч. пособие /Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (3,25 Мбайт). Регистрационный номер управления

образовательных программ СГАУ 113 - 012 - Самара, 2012. 105 с. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

8. Баклашов В.И., Комаров В.А., Лахин О.И., Полончук Е.В., Скобелев П.О., Шпилевой В.Ф. Подход к созданию интеллектуальных систем управления жизненным циклом для аэрокосмических приложений // Труды IV междунар. науч.-практ. конференции «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития». – Ульяновск: 16-17 октября 2014 г. Известия СНЦ РАН 2014. т.16, №1(5). С. 1296 – 1298.

9. Проданов М.Е., Старцев Н.И., Фалалеев С.В. Разработка технологии создания «виртуального» ГТД в учебном процессе [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (0,218 Мбайт). – Самара: 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

УДК 621.1.65, 621.438

ОСОБЕННОСТИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

©2016 С.В. Веретенников, Ш.А. Пиралишвили

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва

FEATURES OF SWIRLING FLOW CONVECTIVE HEAT TRANSFER PROCESS IN THE VORTEX TUBE

Veretennikov S.V., Piralishvili S.A. (P. A. Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk, Russian Federation)

Effectiveness of vortex tubes application in gas turbine cooling systems depends on characteristics of swirling flow formed in the energy separation chamber. The paper contains the results of gas dynamics and heat transfer research in vortex tube taking into account flow unsteadiness.

Форсирование авиационных и наземных газотурбинных двигателей (ГТД) требует увеличения эффективности систем конвективного охлаждения теплонапряжённых элементов проточного тракта за счёт повышения качества процесса теплосъёма на внутренней поверхности охлаждающих каналов. Одним из возможных путей решения этой проблемы является совершенствование процессов конвективного охлаждения за счёт закрутки потока.

В технических устройствах закрутка потока (сообщение потоку вращательного движения с помощью различных закручивающих устройств) приводит к крупномасштабному воздействию на все параметры поля течения, а, следовательно, и на теплообмен [1]. Благодаря наличию поперечных составляющих скорости (тангенциальной и радиальной) усиливается конвективный перенос импульса, энергии и массы и изменяется вихревая структура закрученных потоков. С этим связаны столь необходимые в

технических приложениях свойства закрученных течений, выражающиеся в их способности интенсифицировать процессы тепло- и массообмена, выравнять локальные температурные неоднородности за счёт конвективного перемешивания, подавлять или усиливать случайные возмущения и др. [1].

Эффективность применения вихревых энергоразделителей в системах охлаждения лопаток ГТД зависит от выбора оптимальных геометрических и режимных параметров, однако на сегодняшний день теплообмен в вихревых трубах остается малоизученным. В работе представлены некоторые результаты экспериментальных и численных исследований газодинамики и теплообмена в противоточной вихревой трубе. Геометрические параметры вихревой трубы: двухзаходное закручивающее устройство с тангенциальными соплами прямоугольной формы (отношение сторон $b:h = 1:2$), диаметр камеры энергоразделения $d = 10$ мм; относительный диаметр диафрагмы $d_d = 0,5$; относительная площадь сопловых вводов $f_c = 0,1$; длина камеры энергоразделения $L = 8$ калибров.

При численном моделировании теплообмена с использованием неструктурированной тетрагональной сеткой с призматическим подслоем наблюдалась зависимость коэффициента теплоотдачи от числа слоёв, особенно вблизи закручивающего устройства (рис.1). На значительном удалении $\bar{l} \approx 5$ от закручивающего устройства количество слоёв в пристенной области не оказывало влияния на значение коэффициента теплоотдачи.

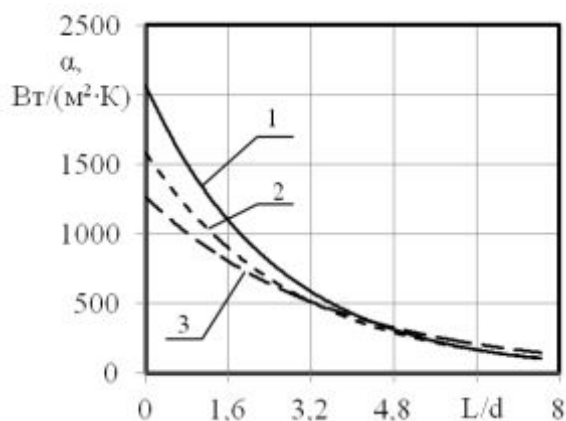


Рис. 1. Распределение коэффициента теплоотдачи по длине камеры энергоразделения при различном количестве призматических слоёв: 1 – 10; 2 – 13; 3 – 17

Для сравнения величины коэффициента теплоотдачи при течении в вихревой трубе и циклонном канале были проведены оценочные численные расчёты. Геометрия вихревой трубы отличалась от циклонного канала только наличием патрубка охлаждённого потока. Расчёты проводились при одинаковых граничных условиях и моделях турбулентности. Проведённое численное моделирование показало, что коэффициент теплоотдачи при течении в камере энергоразделения вихревой трубы значительно выше по всей длине теплообменной поверхности, чем при течении в циклонном канале (рис. 2).

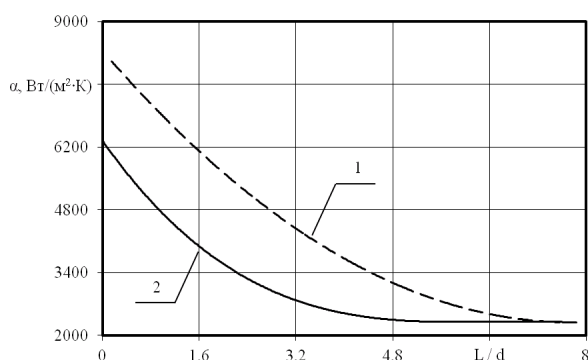


Рис. 2. Распределение коэффициента теплоотдачи по длине циклонного канала и камеры энергоразделения вихревой трубы: 1 – вихревая труба; 2 – циклонная камера

Экспериментальные исследования теплообмена в вихревой трубе с применением воздуха и перегретого водяного пара в качестве рабочей среды позволили выявить наиболее эффективные режимы работы на воздухе вихревого энергоразделителя предложенной конструкции: при доле охлажденного потока $\mu = 0,48$ и перепаде давления $\pi = 3,3$ осреднённый коэффициент теплоотдачи на поверхности камеры энергоразделения достигал максимального значения $\alpha = 578$ ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$); на поверхности патрубка охлаждённого потока максимальное значение коэффициента теплоотдачи $\alpha = 572$ ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) достигается при $\mu = 0,74$ и $\pi = 3,3$. Результаты экспериментов с использованием перегретого водяного пара ($T = 383$ К; $\mu = 0,6$; $\pi = 2$) представлены на рис. 3.

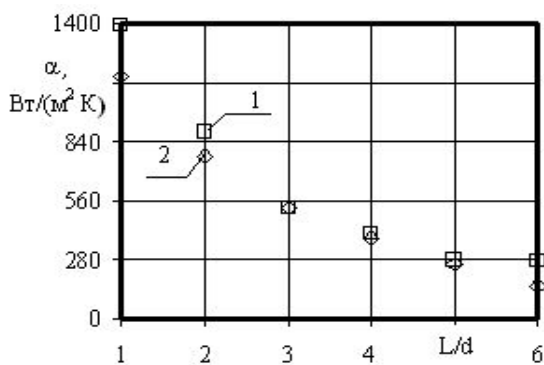


Рис. 3. Распределение коэффициента теплоотдачи по длине: 1 – патрубке охлажденного потока; 2 – камеры энергоразделения ($\mu = 0,48$; $\pi = 2$; водяной пар)

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