

СОЗДАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ОХЛАЖДАЕМОЙ СОПЛОВОЙ ЛОПАТКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ

Волков А.А., Кудряшов И.А., Сулейманов А.Р., Попов Г.М., Горячкин Е.С.
Самарский университет, г. Самара, a44rey@gmail.com

Ключевые слова: охлаждаемая турбина, сопловой аппарат, плёночное охлаждение, конечно-элементная сетка, коэффициент эффективности охлаждения.

В статье описываются способы уменьшения потребного времени для расчета численной модели рабочего процесса охлаждаемой турбины. Уменьшение времени при сохранении точности результатов расчета достигается путем выбора наилучших параметров численной модели и разложения суммарной эффективности охлаждения на конвективную и пленочную составляющие.

Снижение времени расчета с помощью численных моделей рабочего процесса охлаждаемых турбин может быть достигнуто за счет: упрощения геометрии, снижения плотности конечно-объемной сети, и подбором рациональных настроек математической модели. Все способы упрощения потенциально снижают достоверность результатов расчета. Поэтому к их применению нужно подходить разумно.

Авторами статьи был разработан вариант упрощения численной теплогазодинамической модели рабочего процесса турбины с конвективно-пленочным охлаждением. Основная идея связана с тем, что изменение геометрии отверстий пленочного охлаждения мало влияет на процессы во внутренних каналах, и, с другой стороны, изменение геометрии подводящих каналов мало повлияет на процесс формирования защитной пленки у стенки лопатки. Это утверждение позволяет разделить единую сложную модель на 2 относительно простых независимых части, что позволит использовать их отдельно для оптимизации (рис.1).

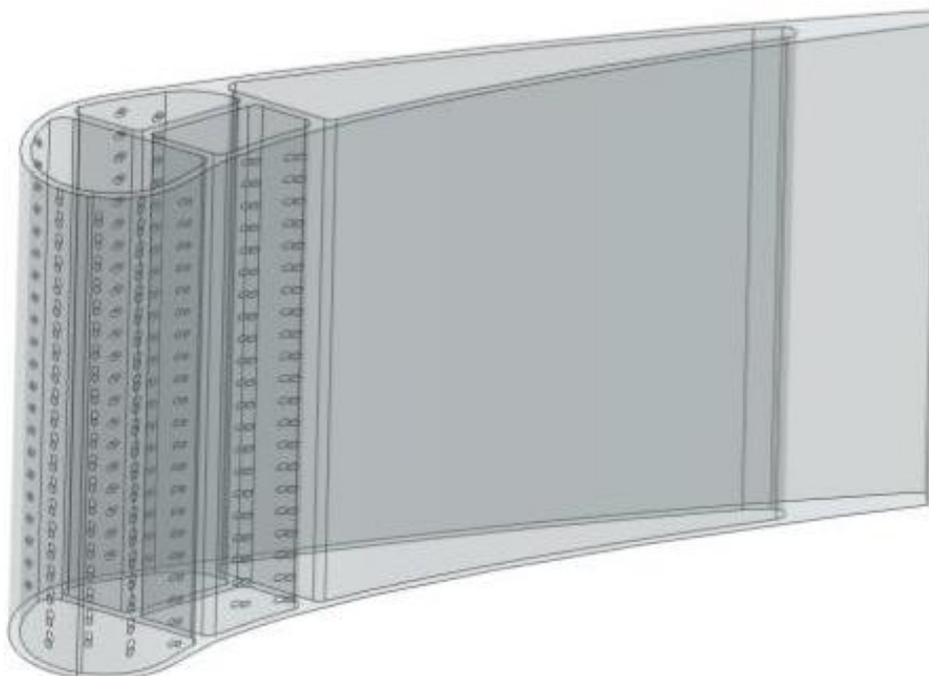


Рис. 1 – Трехмерный вид базовой геометрии исследуемого СА [2]

Связь параметров двух моделей базируется на данных полученных в экспериментах охлаждаемых сопловых аппаратов, которые показывают, что суммарная эффективность охлаждения связана с эффективностью отдельных видов соотношением: $\theta_{\Sigma} = \theta_{\kappa} + \theta_{\pi} - \theta_{\kappa} \cdot \theta_{\pi}$.

В данной формуле θ_k – конвективная эффективность охлаждения, θ_n – пленочная эффективность охлаждения [1]. Авторы поставили себе задачу практически опробовать идею разделения численной модели рабочего процесса охлаждаемой турбины на 2 относительно простых модели и оценить влияние изменения эффективности пленочного охлаждения θ_n на величину эффективности конвективного охлаждения θ_k .

Исследование проводилось в следующей последовательности. Для выбранных тестовых случаев сопловых аппаратов [2] создавалось две расчетных модели. Первая содержала область течения в межлопаточном канале, тело лопатки и все внутренние каналы системы охлаждения. С ее помощью находился суммарный коэффициент эффективности охлаждения θ_Σ .

Вторая модель (модель с адиабатической стенкой) содержала в себе только область межлопаточного канала с имитацией пленочного охлаждения в виде точечных выдувов. Параметры выдувов на поверхности были приняты по результатам расчета первой модели. С помощью второй модели вычислялся коэффициент пленочного охлаждения θ_n .

По результатам расчета суммарного и пленочного коэффициентов охлаждения определялся конвективный коэффициент охлаждения θ_k . В результате были найдены распределения значения эффективностей охлаждения и температуры лопатки в трех контрольных сечениях по высоте лопатки (5%; 50%; 95%).

Всего было создано 8 моделей рабочего процесса охлаждаемого соплового аппарата, отличавшихся количеством и расположением отверстий пленочного охлаждения.

Параметры сетки конечных объемов для расчета газового потока в данных моделях были одинаковы.

Моделирование рабочего процесса охлаждаемого соплового аппарата выполнено в программном комплексе Ansys CFX. В качестве рабочего тела был задан идеальный газ, теплоемкость, динамическая вязкость и теплопроводность которого были заданы в виде графиков зависимости данных параметров от температуры. Для учета влияния турбулентности задана модель турбулентности SST.

Для твердого тела лопатки были заданы следующие параметры: плотность, зависимость теплопроводности и теплоемкости от температуры.

Из анализа результатов видно, что изменение количества и расположения рядов отверстий пленочного охлаждения на лопатке влияет на распределение коэффициента эффективности конвективного охлаждения. Причем качественно характер распределения коэффициента в целом по профилю не изменяется за исключением области горла.

Для выполнения детального анализа была оставлена базовая конфигурация, и исключены из рассмотрения конфигурации со значительными изменениями, в которых в какой-либо полости полностью отсутствовали ряды отверстий, а также конфигурации, в которых ряд отверстий располагался только наполовину высоты лопатки.

В результате анализа распределения значений коэффициента конвективного охлаждения установлено, что при существенном изменении перфорации, а, следовательно, изменении эффективности пленочного охлаждения, значение коэффициента конвективного охлаждения слабо изменяется. Следовательно, для выполнения доводочных и оптимизационных расчетов охлаждаемого СА достаточно выполнить 1 расчет в сопряженной постановке, определить конвективную составляющую охлаждения, зафиксировать ее значение и доводить пленочное охлаждение, что позволит существенно снизить трудоемкость и время расчетов.

Список литературы

1. Копелев С.З. Охлаждаемые лопатки газовых турбин (тепловой расчет и профилирование). М.: Наука, 1983.
2. NASA-CR-168015 Analytical and Experimental Evaluation of the Heat Transfer Distribution Over the Surfaces of Turbine Vanes: Final report. Indianapolis: DetroitDieselAllison, 1983. 228 p.

Сведения об авторах

Волков Андрей Александрович, младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Кудряшов Иван Александрович, инженер. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Сулейманов Артур Робертович, студент. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Попов Григорий Михайлович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

Горячкин Евгений Сергеевич, младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

CREATION OF A NUMERICAL MODEL OF THE COOLED NOZZLE VANE WORKING PROCESS FOR OPTIMIZATION CALCULATIONS

Volkov A.A., Kudryashov I.A., Suleimanov A.R., Popov G.M., Goriachkin E.S.
Samara National Research University, Samara, Russia, a44rey@gmail.com

Keywords: cooled turbine, stator turbine vane, film cooling, cooling efficiency factor.

The paper describes a numerical simulation-based test of the hypothesis that film cooling and convective cooling can be considered separately in the calculations.