

ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛООБМЕНА НА СТАТОРЕ ОХЛАЖДАЕМОЙ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Е.Н. Петрова, М.В. Слабожанинов
ПНИПУ, г. Пермь, pen77@mail.ru

Ключевые слова: Flow Vision, сопряженный теплообмен, статор турбины, вычислительная газодинамика, турбулентность, коэффициент теплоотдачи, расчетная область.

Теплозащита элементов статора турбины является важной задачей, решение которой все более усложняется с ростом параметров рабочего процесса двигателей. К путям анализа теплового состояния корпуса относятся: снятие показаний с термопар во время стендовых испытаний [1] и проведение тепловизионного исследования полей температур [2]. Однако, для этого необходимо проведение натурного эксперимента и дальнейшая дорогостоящая отладка конструкции. К практической значимости исследования так же относится влияние температуры сплавов на их механические свойства [3].

На сегодняшний день, в связи со значительным развитием в области вычислительной техники, стало возможным исследовать течения в турбинах на основе численного решения систем дифференциальных уравнений газовой динамики. Работа с математической моделью в разы сокращает количество экспериментов необходимых для проектирования и доводки изделия. Из публикаций [4-5] следует, что результаты моделирования близки к экспериментальным.

Цель исследования – определение основных особенностей и этапов моделирования сопряженного теплообмена газа со статором турбины в программе FlowVision.

Моделирование начинается с создания твердотельной модели внутренней полости проточной части. Для этого в пакете САПР (Компас-3Д) на основе чертежа строится лопаточный профиль, который затем булевой операцией вычитается из пространства между статором и ротором. В условиях осесимметричной задачи рассматривается лишь фрагмент проточной части [6]. Данный процесс кратко показан на рис. 1.

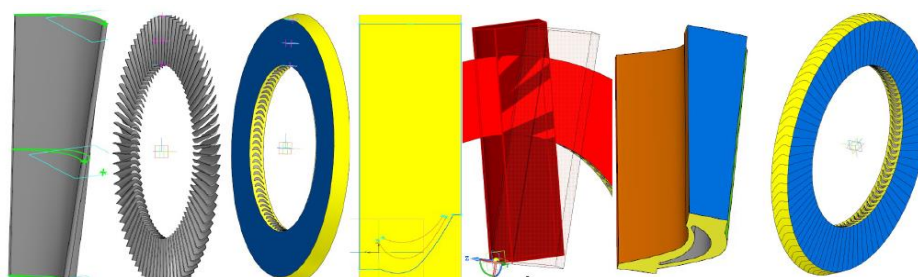


Рис. 1 – Этапы построения расчетной области

На этапе постановки ГУ необходимо учесть особенность Flow Vision – невозможность задавать вектор давления (не задавая при этом скорости потока). Для этого была построена вспомогательная область, которая позволяет задавать направление потока, при этом не влияя на него (взаимодействие между газом и стенкой во вспомогательной области).

Коэффициент теплоотдачи предполагается определять теорией подобия с помощью критериев Нуссельта, полученных на основе результатов опытов. В источниках [7, 8] представлены числа подобия для характерных участков над статором. Теплообмен в охлаждающем канале корпуса на начальном этапе предполагается рассматривать как течение в кольцевом сечении. Важным вопросом является выбор модели турбулентности [9].

Заключительным этапом стало построение расчетной сетки. Каждая модель турбулентности имеет свои особенности сеточной модели, характеризующиеся безразмерным расстоянием от стенки. Применение нескольких моделей турбулентности при продувке

лопаточного профиля и их близость к экспериментальным данным продемонстрирована в статье [10], где указано наилучшее совпадение по потерям полного давления при использовании модели турбулентности $k-\epsilon$ RNG (модернизированный вариант $k-\epsilon$).

Список литературы

1. Гречишников О.В., Балакин А.Ю. Тепловое состояние статора газотурбинного двигателя наземного применения // Вестник самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение . 2013. №3-1(41). С. 57-64.
2. Григорьев А.А., Нихамкин М.Ш., Воронов Л.В., Саженков Н.А.. Экспериментальное исследование теплового состояния корпусов газотурбинных двигателей // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2014. № 37. С. 86-98.
3. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
4. Самохвалов Н.Ю., Хайрулин В.Т., Тихонов А.С.. Верификация расчетных трехмерных моделей образования вторичных вихревых течений в межлопаточных каналах турбин газотурбинных двигателей по данным испытаний тестового профиля t106 // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. №49. С. 41-53.
5. Марценюк Е.В., Зеленый Ю.А., Климик Р.Р.. Идентификация теплового состояния корпуса турбины авиационного двигателя по экспериментальным данным // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016 – № 7(134) – С. 54-61.
6. Кривцов В., Тисарев А.Ю., Шкловец А.О., Шаблий Л.С., Белоусов А.И.. Сопряжённое моделирование рабочего колеса турбины турбонасосного агрегата ЖРД [Электронный ресурс] // Электрон. учеб. пособие АМ-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (10,1– Мбайт). Самара, 2013. 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
7. Батулин О.В., Горячкин Е.С. Колмакова Д.А., Попов Г.М., Леденев А.И.. Численное моделирование рабочего процесса свободной турбины совместно с турбинами низкого давления, переходным каналом и выходным устройством // [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (6,8 Мбайт). Самара, 2013. 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
8. Иванов В.Л., Леонтьев А.И., Манушин Э.А., Осипов М.И.. Под ред. А.И. Леонтьева. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок. //Учебник для вузов. 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 592 с.: ил.
9. Батулин О.В., Матвеев В.Н.. Расчетное определение характеристик элементарных лопаточных венцов турбины // учеб. Пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 007. 118 с.: ил.
10. Субботина П.Н., Шишаева А.С.. Применение различных моделей турбулентности для задач внешнего обтекания в Программном комплексе FlowVision // ООО «ТЕСИС».

Сведения об авторах

Петрова Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент каф. РКТиЭС ПНИПУ. Область научных интересов: рабочий процесс газотурбинных двигателей.

Слабожанинов Михаил Владимирович, студент 4 курса каф. РКТиЭС ПНИПУ. Область научных интересов: проблемы теплообмена в газовой турбине.

THE PROBLEM OF SIMULATION OF THE CONJUNED HEAT EXCHANGE PROBLEM ON THE STATOR OF A COOLED GAS TURBINE

Petrova E.N., Slabojaninov M.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, pen77@mail.ru

Key word: FlowVision, coupled heat exchanger, turbine stator, computational gas dynamics, turbulence, heat transfer coefficient, computational domain.

In this study method of numerical simulations of conjugated convection applied to a casing of axial flow gas turbine in FlowVision software are suggested. The paper presents literature review devoted to this problem. Method of creating the calculation area and boundary conditions for inlet flow direction in FlowVision are special mention. Turbulent models and method calculate heat transfer coefficients on various parts of stator are selected. Effect of computational grid parameters (Y^+ , mesh size) on turbulence modeling is considered.