

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛЕНОЧНОЙ ЗАВЕСЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ОХЛАЖДАЕМОЙ ЛОПАТКИ СРЕДСТВАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ

Черкасова М.Г.

АО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург, cherkasova_mg@power-m.ru

Ключевые слова: конвективно-плёночное охлаждение, коэффициент эффективности охлаждения, пелена, газовая турбина, сопряженный тепло-гидравлический расчет, ламинарно-турбулентный переход

В газотурбинных установках сопловые лопатки первой ступени турбины работают при температурах 1500°C и более. Для обеспечения работоспособности лопаток применяется охлаждение. На сегодняшний день наиболее эффективным является конвективно-плёночное охлаждение. Конвективная составляющая конвективно-плёночного охлаждения хорошо изучена и довольно точно моделируется различными средствами вычислительной аэродинамики. Напротив, процесс выпуска воздуха на наружную поверхность лопатки, образование пелены и последующее смешение воздуха с газом не удается численно смоделировать с использованием общепринятых моделей турбулентности. Результаты расчетов не подтверждаются результатами экспериментов.

При изготовлении сопловой лопатки с плёночным охлаждением существуют ограничения при прожиге отверстий обусловленные особенностью конструкции полков лопатки. Эти ограничения приводят к невозможности изготовления отверстий, направленных под одним углом к перу лопатки по всей ее высоте. В среднем сечении отверстия направлены друг на друга (рис. 1). Воздух, выходящий из встречно направленных отверстий может образовывать заоложенные области и формировать вихревые жгуты, распространяющиеся вдоль пера лопатки. Локальные минимумы и максимумы температуры на поверхности лопатки оказывают значительное влияние на ее прочность, поэтому должны быть учтены при проектировании системы охлаждения.

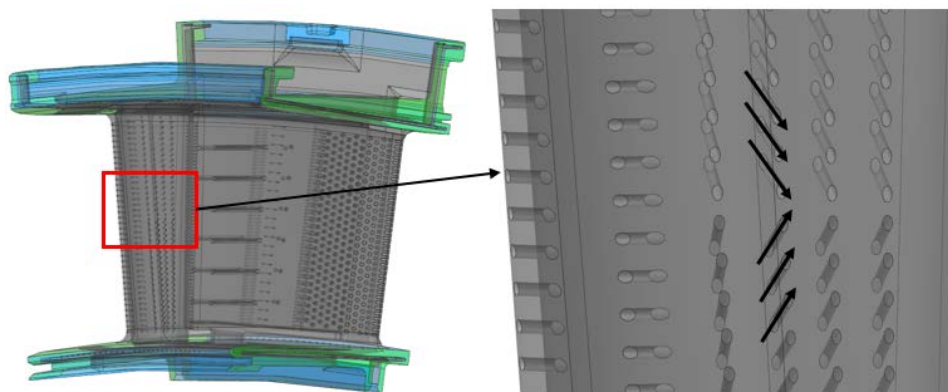


Рис. 1 - Исследуемая геометрия лопатки

Экспериментальные исследования плёночного охлаждения для каждой отдельной лопатки турбины являются дорогостоящими и имеют ограничения, не позволяющие определить все необходимые параметры теплового состояния лопатки. Целесообразно использовать вычислительные средства для моделирования тепло-гидравлического состояния лопатки. Данная работа направлена на поиск параметров решателя, которые позволили бы численно смоделировать конвективно-плёночное охлаждение лопатки газовой турбины средствами вычислительной аэродинамики.

Сопряженный тепло-гидравлический расчет сопловой лопатки является трудоемким и ресурсоемким, что усложняет итерационный процесс подбора параметров решателя. В связи с этим предварительно проводилось исследование для упрощенной геометрии в виде плоской пластины. В рамках анализа открытых источников публикаций, посвященных

экспериментальному и расчетному исследованию пленочного охлаждения на плоской пластине, в качестве данных для валидации расчетной модели выбраны источники [1, 2].

Оценивалось влияние ряда сеточных параметров и настроек решателя, перечень и значения которых представлены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры сеточных моделей

№	Сеточная дискретизация	Размер ячейки		Локальный размер ячейки в канале охл-я	Y^+ , мм	Transition Ratio	Число слоев	Модель турбулентности
		мин	макс					
1	грубая	5	20	3.5	1.2	0.272	5	SST
2	средняя	1	10	3.0	0.7	0.272	8	SST
3		1	10	1.5	0.2	0.272	10	SST
4		1	10	0.35	0.015	0.7	10	SST
5		1	10		0.015	0.5	10	SST
6		1	10		0.015	0.272	15	SST
7		1	10		0.015	0.272	5	SST
8		1	10		0.015	0.272	10	SST
9		1	10		0.015	0.272	10	k-E
10		1	10		0.015	0.272	10	SAS SST
11	подробная	1	5	0.5	0.01	0.272	20	SST

Обобщение полученных результатов (рис. 2) показывает, что чем ниже качество и подробность разрешения сеточной модели и чем проще модель турбулентности, тем ближе результаты расчетов к результатам эксперимента. Это обстоятельство приводит к отсутствию сеточной сходимости для данного типа задач и делает невозможным правдоподобное численное моделирование без экспериментального подтверждения. Ни один из результатов не дал значения θ близкого к экспериментальному вблизи отверстия. Расчетные модели не повторяют экспериментальный процесс смешения основного газа и охлаждающего воздуха, что приводит к тому, что результаты расчета и эксперимента начинают сходиться только на расстоянии 13 диаметров отверстия от места выпуска воздуха. Такое расстояние неприемлемо, так как ряды отверстий на лопатках газовых турбин могут располагаться на расстоянии 3-5 диаметров друг от друга.

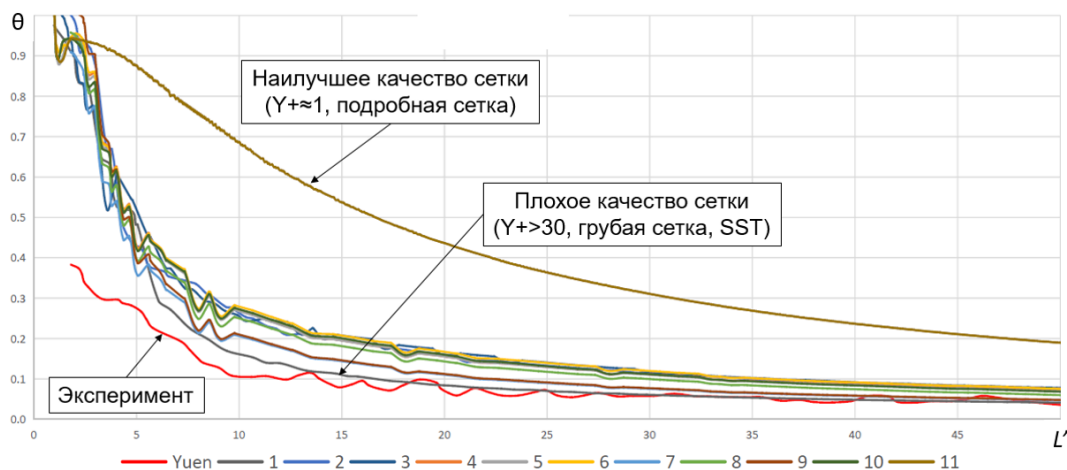


Рис. 2 - Эффективность охлаждения для всех исследованных вариантов

Аналогичные результаты показало расчетно-экспериментальное исследование сопловой лопатки с конвективно-пленочным охлаждением (рис. 3). Воздушная пелена на наружной поверхности лопатки сильно зависит от сеточной дискретизации и настроек решателя. Использование рекомендованных настроек сетки и решателя для задачи конвективного теплообмена приводит к наличию излишне интенсивной пелены воздуха вдоль всего пера лопатки, что противоречит экспериментальным данным.

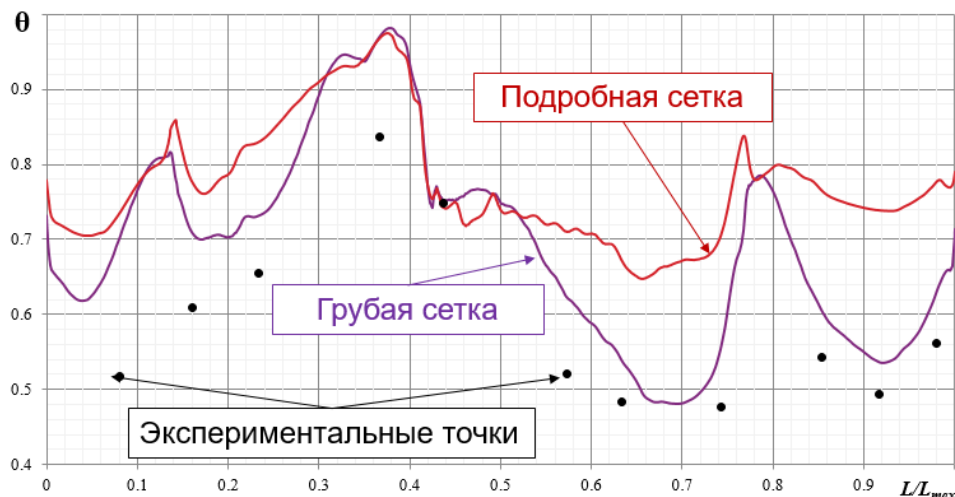


Рис. 3 - Распределение θ вдоль среднего сечения лопатки

Результаты данной работы показывают, что для прикладных задач крайне актуально развитие моделей, которые будут качественно предсказывать точку ламинарно-турбулентного перехода и процесс смешения двух рабочих тел, обладая при этом умеренной ресурсоемкостью.

Список литературы

1. C.H.N. Yuen, Martinez-Botas., Film Cooling Characteristics of a Single Round Hole at Various Streamwise Angles in a Crossflow: Part I Effectiveness, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 46 (2003) 221-235.
2. C.H.N. Yuen, Martinez-Botas, Film Cooling Characteristics of Rows of Round Holes at Various Streamwise Angles in a Crossflow: Part I. Effectiveness, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 48 (2005) 4995-5016.

Сведения об авторах

Черкасова Марина Геннадьевна, к.т.н., начальник сектора. Область научных интересов: аэродинамика проточных частей турбомашин, теория турбомашин.

ISSUES OF MODELING A FILM ON THE SURFACE OF A COOLED BLADE BY CFD METHODS

Cherkasova M.G.

JSC «Power machines», Saint-Petersburg, cherkasova_mg@power-m.ru

Key words: film cooling, cooling efficiency, film, gas turbine, cooled vanes, conjugate thermal-hydraulic simulation, laminar-turbulent transition

Using the recommended grid and solver settings for the convective heat transfer simulations leads to the presence of an excessively intense film along the entire vane, which contradicts the experimental data.