

УДК 621.438

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТКАХ ТУРБИН

© Ращупкина А.В., Волков А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: n.raschupkina@gmail.com

Целью данной работы является: изучение процессов конвективного теплообмена в каналах системы охлаждения лопаток турбин и разработка метода получения критериальной зависимости коэффициента теплоотдачи для каналов круглой формы с помощью применения численных моделей.

Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- изучение и выполнение различных способов псевдосопряженного моделирования;
- исследование влияния настроек численных моделей на результаты расчета;
- получение метода для выведения критериальной зависимости с помощью численного моделирования;

Апробация полученного метода с помощью расчета охлаждающих каналов.

Для выполнения поставленных задач в качестве предмета исследования выбрана сопловая решетка, которая была испытана NASA [1]. Решетка представляет собой лопатки постоянного сечения с 10 отверстиями конвективного охлаждения.

Для проверки результатов псевдосопряженных расчетов выполнено численное моделирование двух способов сопряженного расчета:

- двухмерный расчет с учетом теплообмена в среднем сечении лопатки. Расчетная область двухмерной модели включает в себя основную проточную часть и твердое тело лопатки. Граничными условиями для каналов системы охлаждения заданы коэффициент теплоотдачи и температура охладителя;

– трехмерный расчет с учетом теплообмена. Выполнено моделирование основной проточной части, твердого тела лопатки и охлаждающего воздуха. Граничными условиями для каналов системы охлаждения являются расход и температура охладителя.

Результаты расчетов показали, что разработанные сопряженные модели рабочего процесса в лопаточном венце охлаждаемой турбины позволяет качественно моделировать тепловое состояние лопаток турбин.

Далее выполнены различные виды псевдосопряженного моделирования. В настоящее время существует несколько способов расчета данной модели:

- при первом способе расчета основной поток и твердое тело моделируются совместно, охлаждающие отверстия рассчитываются в одномерной постановке;
- второй способ заключается в том, что основной поток и твердое тело лопатки моделируются совместно, а охлаждающие каналы рассчитываются в одномерной постановке;
- проточная часть и твердое тело рассчитываются отдельно, охлаждающие каналы моделируются в трехмерной постановке.

Данный способ аналогичен предыдущему, различие в том, что охлаждающие отверстия моделируются в одномерной постановке.

Результатами расчета являются коэффициент теплоотдачи охлаждающих каналов и распределение температуры стенки. Выполнено сравнение результатов эксперимента, сопряженного и псевдосопряженного расчетов. Также проведено исследование сходимости температуры стенки в зависимости от итерации.

При моделировании отверстий одномерным способом сходимость достигается уже при 1 итерации. Это связано с тем, что для расчета коэффициента теплоотдачи во 2-м и 4-м способе использованы имеющиеся критериальные зависимости. Способы, в которых используются одномерные гидравлические расчеты охлаждающих каналов, имеют сходимость с наименьшим количеством итераций. Таким образом, такие способы подходят для оптимизационных расчетов. Однако 4-й способ является наиболее трудоемким за счет раздельного расчета твердой лопатки и основного потока, поэтому целесообразным является выбор 2-го способа.

Для формирования критериальной зависимости необходимы такие уравнения подобия, как число Нуссельта и число Рейнольдса. С помощью полученных данных формируется зависимость $Nu = f(Re)$, далее выполняется аппроксимация степенной функции с помощью логарифмической системы координат и в итоге формируется критериальная зависимость $Nu = C Re^K$.

Для каналов охлаждения данного соплового аппарата Mark II выполнена апробация полученного метода формирования критериальной зависимости. Для этого в трехмерной постановке рассчитаны каналы охлаждения на разных режимах и выполнено сравнение с экспериментальными данными и критериальным уравнением, полученным из учебника М.А. Михеева «Основы теплопередачи» (рисунок).

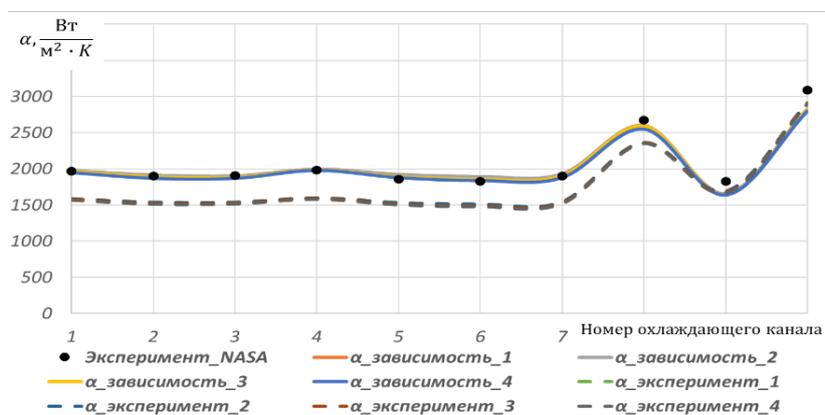


Рис. Коэффициенты теплоотдачи охлаждающих каналов

Получен метод для определения критериальных зависимостей с целью получения коэффициентов теплоотдачи с помощью численного моделирования без использования экспериментальной установки. Метод получен на примере трехмерных каналов круглого сечения. Показано, что результаты, полученные с помощью критериальной зависимости, согласуются с экспериментальными данными. Он апробирован на охлаждающих каналах, которые рассчитаны на разных режимах истечения воздуха. Данный подход может быть использован для расчета аналогичных каналов и одномерных гидравлических моделей.

Библиографический список

1. Hylton L. D. [et al.]. Analytical and experimental evaluation of the heat transfer distribution over the surfaces of turbine vanes // Final Report Detroit Diesel Allison. 1983.