

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Веера А.Н., Рогалев А.Н., Шевченко И.В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, vegeraan@gmail.com

Ключевые слова: газовая турбина, система охлаждения, теплообмен

Повышение тепловой экономичности газотурбинных установок, связанное в том числе с переходом на новый уровень начальных параметров цикла, несомненно, является актуальной задачей мирового масштаба. Ведущие энергомашиностроительные компании мира, такие как Siemens, General Electric, Mitsubishi Heavy Industries, уже создали установки мощностью более 500 МВт с начальной температурой порядка 1600°C и КПД в простом цикле более 41% и проводят исследования и разработки, направленные на создание установок с температурой газов перед турбиной 1700°C и более [1]. Для Российской Федерации создание высокоэффективных конкурентоспособных газотурбинных установок является задачей обеспечения энергетической безопасности. Рост температуры газов может быть обеспечен не только созданием новых конструкционных материалов и покрытий, но и усовершенствованием системы охлаждения высокотемпературных лопаток первых ступеней газовой турбины. В рабочих лопатках наибольшую применимость приобрели полупетлевые и петлевые схемы охлаждения, в которых ключевыми элементами являются различного рода интенсификаторы теплообмена: ребра, штырьки, вихревые матрицы, лунки и прочее.

Существующие интенсификаторы теплообмена, применяемые в различных частях пера лопаток газовых турбины не лишены недостатков. Так, турбулизаторы потока в виде поперечных или наклонных ребер [2] при использовании в каналах срединных участков пера не позволяют устранить неравномерность температуры со стороны спинки и корыта, которая для рабочей лопатки первой ступени высокотемпературной турбины может достигать 200 °С. Для выравнивания тепловой неравномерности профиля лопатки газовой турбины был разработан несимметричный метод организации течения теплоносителя в радиальных каналах (рис.1). Разработанный метод основан на организации пристеночного струйного течения на стенках каналов со стороны корыта лопатки.



Рис.1 – Модель канала с несимметричным методом интенсификации

Результаты численных и экспериментальных исследований показали, что несимметричный метод интенсификации теплообмена позволяет обеспечить: коэффициент несимметричности 1,3–1,4, коэффициент теплогидравлической эффективности 1,48, относительное число Нуссельта $N/Nu_0 = 3,5-4$ (со стороны струй). Метод несимметричной интенсификации позволяет снизить неравномерность температурного поля лопатки со стороны спинки и корыта на 25–30%.

Для области выходной кромки пера охлаждаемых рабочих лопаток газовых турбин одними из наиболее часто применяемых интенсификаторов теплообмена являются цилиндрические штырьки. Главным недостатком данного турбулизатора потока, является то, что наибольшая интенсификация достигается в его лобовой части, при этом в теневой области формируется застойная зона с низким коэффициентом теплоотдачи (рис.2 а). Для повышения эффективности штырькового интенсификатора теплообмена было предложено размещать его в поперечные потоку траншеи (рис. 2 б). Численные и экспериментальные исследования показали, что применение интенсификатора типа «штырьки в траншеях» позволяет повысить средний коэффициент теплоотдачи по сравнению с традиционными штырьковыми турбулизаторами на 15-20% в диапазоне чисел Рейнольдса от 4000 до 80000.

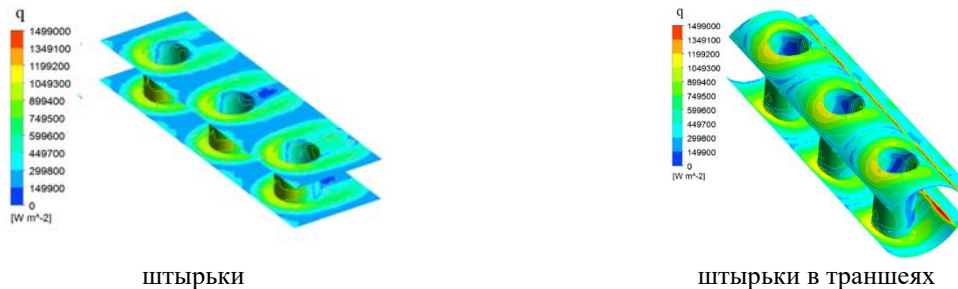


Рис. 2 – Плотность теплового потока в канале с интенсификаторами теплообмена при $Re = 44\ 000$

Список литературы

1. Key Technologies for 1700 C Class Ultra High Temperature Gas Turbine //Mitsubishi Heavy Industries Technical Review / Ishizaka K. et al. // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. 2017. Volume. 54. №. 3. pp. С. 23-32
2. Пат. 2647351 Российская Федерация, МПК F01D 5/18. Охлаждаемая лопатка газовой турбины / Шевченко И.В., Рогалев А.Н., Гаранин И.В.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» – № 2017115369; заявл. 03.05.2017; опубл. 15.03.2018, Бюл. № 8. – 11 с.

Сведения об авторах

Шевченко Игорь Владимирович, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: газотурбинная установка, тепломассообмен, аэродинамика, аддитивные технологии,
 Рогалев Андрей Николаевич, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой. Область научных интересов: энергетические установки, тепломассообмен, аэродинамика.
 Вегера Андрей Николаевич, ассистент. Область научных интересов: системы охлаждения газовых турбин, моделирование теплогидравлических процессов.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF HEAT TRANSFER INTENSIFICATION METHODS FOR THE GAS TURBINE BLADE COOLING SYSTEM

Vegera A.N., Rogalev A.N., Shevchenko I.V.

National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia,
vegeraan@gmail.com

Keywords: engine, gas turbine, cooling system, heat exchange.

The article presents the results of research on new solutions to improve the efficiency of existing heat transfer intensifiers for cooling systems of gas turbine blades. For the radial channels of the blade pen, an asymmetric method of organizing heat exchange is proposed, and for the area of the output edge, an intensifier of the «pins in trenches» type is proposed.