

Разработка методов интенсификации теплообмена в системах охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин и технологий опережающей верификации теплогидравлических моделей

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0210 от 28 сентября 2016 г. с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 1 января 2017 г. по 29 декабря 2017 г. выполнены следующие работы:

1. проведено теоретическое обоснование разработанных методов интенсификации конвективного теплообмена;
2. проведено исследование методов интенсификации теплообмена в области выходной кромки;
3. проведено численное исследование вариантов организации системы интенсификаторов теплообмена в области выходной кромки;
4. проведено исследование методов интенсификации теплообмена в каналах системы охлаждения пера лопатки;
5. проведено численное исследование вариантов организации системы интенсификаторов теплообмена в каналах системы охлаждения пера лопатки;
6. изготовлен по разработанной ЭКД стенд для исследования конвективного теплообмена в системе охлаждения лопаток газовых турбин;
7. изготовлены по разработанной ЭКД модели системы конвективного охлаждения выходной кромки;
8. изготовлены по разработанной ЭКД модели системы конвективного охлаждения пера лопатки в радиальных каналах;
9. разработаны ПИМ проведения исследований моделей системы конвективного охлаждения выходной кромки и проведения исследований моделей системы конвективного охлаждения пера лопатки в радиальных каналах;
10. проведены исследования моделей системы конвективного охлаждения выходной кромки лопатки газовой турбины и исследования моделей системы конвективного охлаждения пера лопатки;
11. изготовлены стенд для исследования струйного охлаждения лопаток газовых турбин и модели для исследования систем интенсификации струйного охлаждения;
12. проведено исследование существующих корреляционных зависимостей для систем интенсификации конвективного теплообмена;
13. проведено создание новых корреляционных зависимостей для разработанных систем интенсификации конвективного теплообмена;
14. проведено исследование методов интенсификации струйного охлаждения, включая:
 - 14.1 теоретическое обоснование подходов к интенсификации струйного охлаждения;
 - 14.2 исследование методов интенсификации струйного охлаждения;
 - 14.3 численное исследование вариантов организации системы струйного охлаждения;
 - 14.4 выбор и построение трехмерных моделей вариантов организации системы струйного охлаждения;
 - 14.5 построение расчетных сеток вариантов организации системы струйного охлаждения;

- 14.6 проведение расчетов и анализ результатов численного моделирования вариантов организации систем струйного охлаждения;
- 15 разработана ЭКД на стенд для исследования систем интенсификации струйного охлаждения лопаток газовых турбин;
- 16 разработана ЭКД на модели для исследования систем интенсификации струйного охлаждения лопаток газовых турбин;
- 17 разработана программа и методика проведения исследований моделей систем интенсификации струйного охлаждения лопаток газовых турбин;
- 18 проведены исследования моделей систем струйного охлаждения лопаток газовых турбин.

Основные полученные в настоящем проекте результаты состоят в новых разработанных системах интенсификации. На основании теоретических и экспериментальных данных установлено, что перспективным решением для повышения интенсивности охлаждения выходных кромок лопаток газовых турбин является применение шахматного пучка штырьково-луночных интенсификаторов теплоотдачи (рисунок 1), позволяющих повысить число Нуссельта по сравнению со штырьковыми турбулизаторами потока на 7-13 % (рисунок 2) в диапазоне чисел Re от 20000 до 85000.

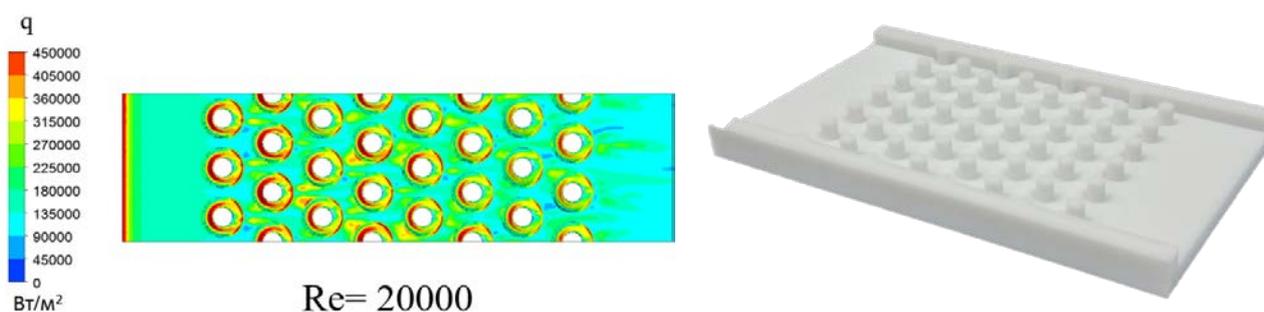


Рисунок 1 – Модель и распределение теплового потока для штырьково-луночных интенсификаторов

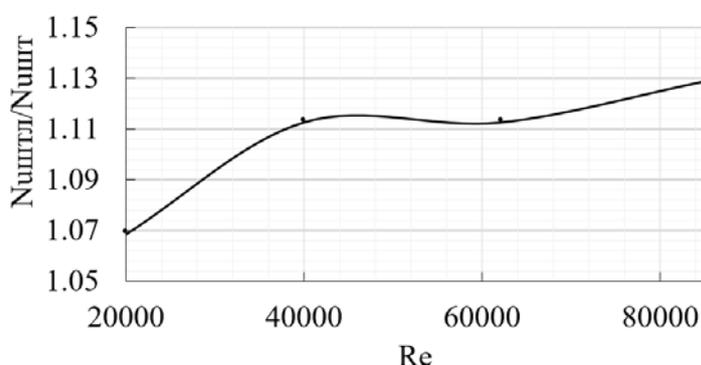


Рисунок 2 – Относительная интенсификация теплообмена за счет применения штырьково-луночных интенсификаторов по сравнению со штырьковыми интенсификаторами

Трехмерные расчеты и тепловые эксперименты позволили заключить, что применение несимметричного метода интенсификации теплообмена (рисунок 3) позволяет, выравнивать температурное поле со стороны спинки и корыта высокотемпературной лопатки газовой

турбины в рамках конвективной системы охлаждения. Достижимая несимметричность теплоотдачи составляет 25-30 %.

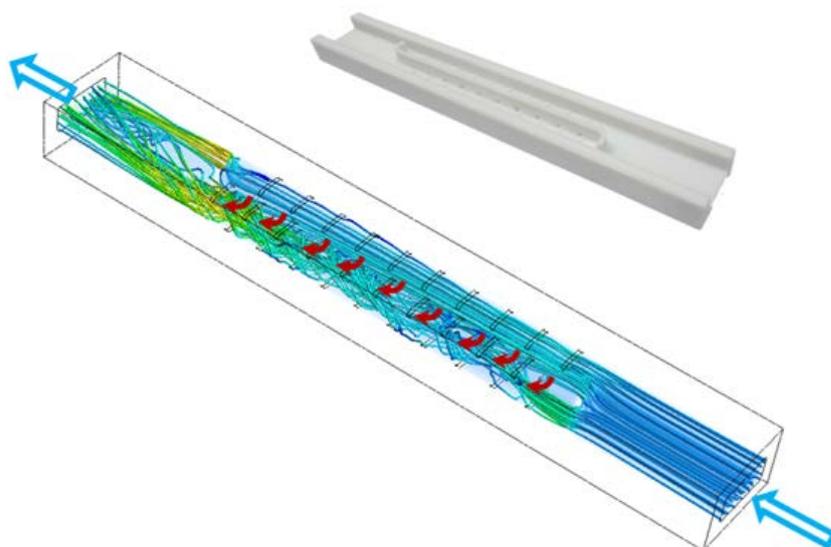


Рисунок 3 – Схема организации течения в системе несимметричной интенсификации

Экспериментальные исследования на тепловизионной установке и численные расчеты позволили установить, что наибольшую эффективность для струйного охлаждения входной кромки обеспечивает схема двумерного закрытого циклона (рисунок 4). Разработанный вариант обеспечивает значение числа Нуссельта, рассчитанного по диаметру, более 450 при числе $Re > 55000$.

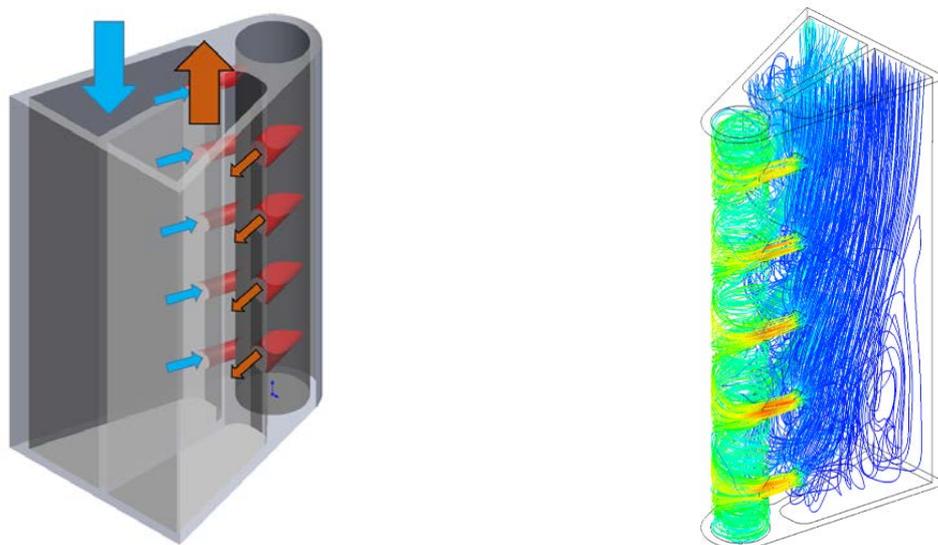


Рисунок 4 – Схема закрытого двумерного циклона

Также в рамках этапа № 2 реализации проекта в ФИПС подана заявка на изобретение «Охлаждаемая лопатка соплового аппарата газовой турбины» (заявка № 2017139487).

Оценка элементов новизны результатов работ по этапу № 2

В рамках этапа № 2 проекта впервые проведены численные и экспериментальные исследования разработанных систем интенсификации конвективного и струйного теплообмена, а также созданы новые корреляционные зависимости числа Нуссельта от числа Рейнольдса.

Оценка соответствия полученных результатов работы техническим требованиям к выполнению проекта, и оценка перспектив продолжения проекта

Все обозначенные в Плане-графике работы выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания и позволяют перейти к экспериментальным исследованиям, запланированным на этапе № 3 реализации проекта.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.