

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора А.Г. Лаптева на диссертацию **Иванова Сергея Николаевич «Теплоотдача при струйно-дефлекторном охлаждении турбинных лопаток с полусферическими выступами и выемками»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника; 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Актуальность темы. Важным фактором, обеспечивающим высокую эффективность и экономичность теплообменного оборудования, является использование различных способов интенсификации теплообмена, технология изготовления которых хорошо освоена в производстве.

Многочисленные результаты исследований и факты практического использования показывают, что струйное охлаждение обладает высокой теплообменной эффективностью. Действительно, струйный обдув поверхности нашел широкое применение для охлаждения наиболее нагруженных в тепловом отношении деталей и узлов газотурбинных двигателей и энергоустановок.

В то же время, в условиях известной тенденции постоянно повышающегося уровня температур в термодинамическом цикле газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) достигнутого уровня эффективности охлаждения импактными струями лопаток газовых турбин может быть недостаточно для обеспечения заданного ресурса их работы.

Благодаря своей технологичности и высокой теплогидравлической эффективности весьма широкое распространение на практике получили интенсификаторы теплообмена в виде матриц полусферических выступов

коэффициенты теплоотдачи, которые обобщались в виде критериальных уравнений.

В работе также исследовался вопрос влияния высоты канала на среднюю теплоотдачу от выступов к охлаждающему воздуху в области лобовой точки и на участке последействия.

Как следует из выполненных экспериментов, выявленные соискателем тенденции влияния высоты канала на теплоотдачу от выступов в области лобовой точки модели входной кромки соответствуют известным результатам при струйном обдуве гладкой поверхности, когда зависимости $Nu_H = f(H/d)$ имеют максимум. На участке последействия уменьшение высоты охлаждающего канала при $Re = idem$ увеличивает теплоотдачу от выступов по причине увеличения скорости в канале.

Местная теплоотдача на участке последействия $Nu_x = f(Re_x)$ снижается за счет диссипации образовавшихся при натекании струй на матрицу выступов крупных вихрей, где интенсивность взаимодействия с этой поверхностью значительно более высокая, нежели при натекании струй на гладкую поверхность. Неслучайно при сопоставлении с натеканием струй на гладкую поверхность оказалось, что опытные точки относительного коэффициента теплоотдачи в исследованных соискателем условиях расположены ниже, чем в случае гладкой поверхности. Кроме этого, массив опытных точек не имеет локального максимума, обусловленного ламинаро-турбулентным переходом, как при струйном натекании на гладкую поверхность.

Получено, что для обеспечения более высокой теплоотдачи на участке последействия целесообразна максимально плотная установка выступов, а в области лобовой точки — меньшая плотность их расположения.

Научная новизна диссертационной работы С.Н. Иванова определяется тем, что автор впервые получил и проанализировал

обширный комплекс опытных данных по влиянию режимных и геометрических параметров на теплоотдачу при натекании струй на поверхность с полусферическими выступами; получил результаты исследований о влиянии режимных параметров на теплоотдачу при натекании струй на поверхность с выемками. По результатам проведенных исследований получены критериальные уравнения, которые позволяют рассчитывать среднюю и местную теплоотдачу на охлаждаемой импактными струями поверхности с выступами или выемками.

Выполненные визуализационные исследования течений и их сравнительный анализ позволили соискателю расширить и углубить физические модели течения при взаимодействии импактных струй с матрицей полусферических выступов в области лобовой точки и на участке последствия, объяснить механизм интенсификации теплообмена в исследованных условиях. Показано, что в полостях выемок на струйно-канальном режиме течения происходит регулярное чередование двух процессов: периодического обновления образующегося возвратного течения с одной стороны и струйного потока, периодически, с той же частотой достигающего донную область полусферической выемки.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов состоит, прежде всего, в том, что они позволяют более детально понять механизм взаимодействия импактных воздушных струй с пристенными интенсификаторами теплообмена (выступами и выемками). Разработанные на основе экспериментальных исследований рекомендации для расчета теплоотдачи по основным геометрическим и режимным параметрам соответствуют диапазону их изменения в системах охлаждения натурных ГТД и ГТУ.

Полученные С.Н. Ивановым опытные данные могут быть использованы для верификации разрабатываемых численных моделей

конвективного теплопереноса в струйно-дефлекторных системах охлаждения с матрицами выступов или выемок.

Достоверность заключается в удовлетворенном согласовании полученных результатов экспериментальных исследований с известными данными других авторов; в использовании аттестованных средств измерения теплообменных и гидравлических характеристик; обоснованным расчетом погрешности измерений.

Замечания по диссертации:

1. В диссертационной работе не рассматривается возможность использования полученных уравнений подобия для случая струйного нагрева, когда изменение направления теплового потока может потребовать поправки на влияние неизотермичности.

2. Во второй главе диссертации не указано, каким образом определялись коэффициенты теплоотдачи на незанятых выступлениями участках исходно гладкой поверхности.

3. В диссертации нечетко обозначена область лобового натекания ряда импактных струй на матрицу выступов. В исследованном автором случае линия центров осей отверстий в дефлекторе совпадает с линией полюсов выступов, что следовало бы оговорить в диссертации и автореферате.

4. Накладываемые ограничения на располагаемый перепад давления охлаждающего воздуха могут повлечь за собой необходимость в снижении количества рядов матрицы выступов исследованной схемы охлаждения участка входной кромки турбинной лопатки.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку оппонируемой работы.

Заключение. Таким образом, на основе вышеизложенного можно сделать выводы, что диссертация С.Н. Иванова выполнена на актуальную тему с использованием современных экспериментальных методов


теплофизического моделирования. Она посвящена экспериментальному комплексному исследованию конвективного теплообмена при взаимодействии импактных струй и пристенных интенсификаторов теплообмена.

На основании проведенных исследований автором представлены критериальные уравнения, которые могут применяться при расчете систем охлаждения ГТД и ГТУ.

Диссертационная работа С.Н. Иванова является законченной научно-квалификационной работой, посвященной важным прикладным разделам теплофизики и теоретической теплотехники. Представленный в работе материал обладает научной новизной и практической значимостью. Основные результаты диссертации опубликованы в печати и неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах. Автореферат и публикации отражают содержание диссертации.

Таким образом, можно констатировать, что настоящая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям (соответствующим п.7 положений ВАК), а ее автор **Иванов Сергей Николаевич** достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника; 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
Технологии воды и топлива на ТЭС и АЭС
Казанского государственного
энергетического университета

 А.Г.Лаптев

