

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.079.02 НА БАЗЕ
ФГБОУ ВПО "КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА - КАИ"
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 3 июля 2014 г.

О присуждении Иванову Сергею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация "Теплоотдача при струйно-дефлекторном охлаждении турбинных лопаток с полусферическими выступами и выемками" в виде рукописи по специальностям 01.04.14 - "Теплофизика и теоретическая теплотехника" и 05.07.05 - "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов" принята к защите 23 апреля 2014 г., протокол №3, диссертационным советом Д 212.079.02 на базе ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ", 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10, приказ №774/нк от 5 ноября 2013 г.

Соискатель - Иванов Сергей Николаевич, 1986 года рождения, в 2010 году с отличием окончил ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ" по специальности "Авиационная и ракетно-космическая теплотехника".

В 2014 г. соискатель окончил аспирантуру (заочно) ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ".

Работает инженером-конструктором II категории в ОАО "Казанское опытное конструкторское бюро "Союз".

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ" на

кафедре Теплотехники и энергетического машиностроения, Министерство образования и науки РФ.

Научные руководители: доктор технических наук Щукин Андрей Викторович, ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ", кафедра Теплотехники и энергетического машиностроения, профессор; кандидат технических наук Ильинков Андрей Владиславович, ФГБОУ ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ", кафедра Теплотехники и энергетического машиностроения, доцент.

Официальные оппоненты:

1. Лаптев Анатолий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Казанский государственный энергетический университет", кафедра Технологии воды и топлива на ТЭС и АЭС, заведующий кафедрой;

2. Горелов Юрий Генрихович, кандидат технических наук, ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют", КБПР, начальник бюро дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация - Исследовательский центр проблем энергетики Казанского научного центра РАН, г. Казань, в своем положительном заключении, подписанным Шлянниковым Валерием Николаевичем - доктором технических наук, профессором, директором, Занько Ф.С. - кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, Душиной О.А. - кандидатом технических наук, научным сотрудником, указала, что диссертационная работа по своей научной и практической ценности полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор Иванов Сергей Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 - "Теплофизика и теоретическая теплотехника" и 05.07.05 - "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов".

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, все они по теме диссертации; из них 2 статьи в рецензируемых, рекомендуемых ВАК журналах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Иванов С.Н. Теплоотдача при струйном охлаждении поверхности с выемками / Щукин А.В., Ильинков А.В., Дезидерьев С.Г., Иванов С.Н. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева - Казань: изд-во КНИТУ-КАИ, 2013, №2, вып. 1, с. 43-48.

2. Иванов С.Н. Интенсификация теплообмена при комбинированном охлаждении входной кромки турбинной лопатки / Щукин А.В., Ильинков А.В., Дезидерьев С.Г., Иванов С.Н. // "ИВУЗ Авиационная техника", №4, 2013 г., с.47-50.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Ведущей организации - "Исследовательский центр проблем энергетики Казанского научного центра РАН", г. Казань. Отзыв положительный. Замечания:

- Автором не исследовано влияние высоты канала и геометрических параметров поверхности с выемками на теплоотдачу при струйном ее охлаждении.
- При исследовании охлаждения модели входной кромки в диссертации не обсуждается вопрос влияния на теплоотдачу центробежных массовых сил, которые могут давать неодинаковый вклад в увеличение теплоотдачи при обтекании вогнутой поверхности с матрицей выступов и гладкой поверхности.
- Соискателю следовало бы объяснить причину неодинакового наклона полученного автором массива линий $Nu_x=f(Re_x)$ при струйном обдуве поверхности с выступами по сравнению с натеканием струй на гладкую поверхность.

Официального оппонента д.т.н., профессора Лаптева А.Г., отзыв положительный. Замечания:

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

Официального оппонента к.т.н. Горелова Ю.Г., отзыв положительный.

Замечания:

- Желательно выполнить сравнение для выступов в полости входной кромки на участке последействия не только с данными для струйного обдува вогнутой поверхности Р. Гардона и К. Акрифата, но и с данными Е.П. Дыбана и А.И. Мазура для струйного обдува из отверстий.
- Автор предполагает, что причиной того, что на поверхности с выступами относительная теплоотдача (α/α_0) снижается до более низкого уровня, чем на обдуваемой гладкой поверхности, является повышенный уровень турбулентности и вихреобразования при взаимодействии струй, что увеличивает α_0 . В дальнейшем следовало бы подтвердить это сравнительными расчетными исследованиями. А также объяснить физический механизм явления того, что на участке последействия предпочтительным является максимальная плотность расположения выступов $f=0,85$.

- Преимущество струйного обдува над поперечным (тангенциальным) течением в гладком канале оценивается в 1,9-2,5 раза, желательно оценивать вклад лунок в интенсификацию теплообмена, разделив влияние лунок и струй для Nu_x . В диссертации указывается на то, что при $H/d=1,6...1,66$ данные по теплоотдаче при струйном (дефлекторном) способе совпадают с данными при струйном обдуве с полусферическими выступами при $f=0,485$ и $0,85$, однако относительное расстояние $H/d=1,6...1,66$ довольно часто применяется в дефлекторных лопатках авиационных ГТД.

- Вызывает некоторое недоумение несоответствие эффективности охлаждения входной кромки - температуре стенки на рисунке 4.8 диссертации, а также несоответствие авторов исследований на рисунке 15 автореферата и рисунке 4.8 диссертации. Данные по температуре охлаждаемой стенки входной кромки представляются несколько заниженными. Так, для условий, представленных в диссертации, $T_g^*=1600K$, а $T_{охл.вх.}^*=800K$; $G_{охл.}=3,5\%$ по результатам определения $\theta_{вх.кр.}$ в работе Ю.Г. Горелова, М.В. Сухова (Теплоэнергетика, №3, 2000 г.) температура стенки входной кромки при струйно-дефлекторном способе охлаждения с выпуклостями на вогнутой поверхности (если $T_{дефл.}-T_{дефл. с выпукл.}=60 K$) ниже, чем при вихревом способе на $\sim 100^\circ$, по данным автора эта величина составляет $(150-160)^\circ C$. Непонятно, в какую сторону отложено 60° относительно лобовой точки 0° на рисунке 15 автореферата для циклонного способа охлаждения, т.к. для циклонного способа симметричности в теплоотдаче относительно 0° не существует.

- В дальнейшем хотелось бы пожелать автору исследовать влияние шага полусферических выступов, а также вариант расположения выпуклостей на входной кромке при одновременном их размещении с $f=0,485$ - в лобовой точке и с $f=0,85$ - на участке последствия.

ООО "Сименс", г. Москва, подписанный д.т.н., главным аэродинамиком Мамаевым Б.И. Отзыв положительный. Замечания:

- Поскольку из полученных соискателем результатов экспериментов следует, что в лобовой точке предпочтительна относительная плотность расположения выступов $f=0,485$, а на участке последствия $f=0,85$, то для такого варианта автору следует в будущем провести сравнительное исследование на предмет оценки температурного состояния входной кромки для рекомендуемой компоновки выступов.

- Из автореферата трудно понять, что обозначено буквами D и d.

"Вятская государственная сельскохозяйственная академия", г. Киров, подписанный д.т.н, проф., заведующим кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Лихановым В.А. Отзыв положительный. Замечания:

- На основании каких данных или по каким критериям принимались значения параметров, представленные в таблице 2 автореферата? Что автор брал в качестве критерия оптимизации?

- Каким образом автор обосновывает полученную относительную относительную оптимальность плотности расположения выступов f и относительную высоту канала H/d на различных участках?

- Насколько смоделированные автором условия, при которых проводились экспериментальные исследования, соответствуют или совпадают с условиями работы реальной лопатки на различных режимах?

- Насколько же полученные автором результаты исследований сходятся или расходятся с уже имеющимися данными по рассматриваемой теме и насколько они согласуются с теоретическими предпосылками?

"Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН", подписанный д.т.н., профессором, заведующим отделом Тереховым В.И., к.т.н., старшим научным сотрудником Калининой С.В. Отзыв положительный. Замечания:

- Не описана методика экспериментального определения коэффициента теплоотдачи.

- Исследованная система характеризуется большим числом геометрических параметров, которые могут играть решающую роль в конечных результатах. В то же время из автореферата не ясно, из каких соображений были выбраны размеры соплового отверстия, выступов, углублений, расстояний между ними. В частности, не ясно, почему были выбраны полусферические, а не более мелкие каверны.

- В качестве характерной длины при обработке результатов исследований на модели входной кромки лопатки автор использует расстояние от сопла до стенки, что не типично для такого типа задач и вызывает вопросы.

- Теплообмен при струйном обтекании гладкой стенки в общем случае зависит от характеристик потока на выходе из соплового отверстия. В данном исследовании этот фактор не учитывался.

"Уфимский государственный авиационный технический университет", г. Уфа, подписанный д.т.н., профессором кафедры авиационной теплотехники и теплоэнергетики Трушиным В.А. Отзыв положительный. Замечание:

- Автором работ не исследованы аэрогидродинамические потери в каналах в рассмотренных условиях.

"Ульяновский государственный технический университет", г. Ульяновск, подписанный Проректором по научной работе Ярушкиной Н.Г., д.т.н., профессором, заведующим кафедрой "Теплоэнергетика" Ковальновым В.Н., к.т.н., доцентом Федоровым Р.В. Отзыв положительный. Замечания:

- Приведенные в автореферате графики с результатами исследований отражают в основном влияние на теплоотдачу параметров полусферических выступов и выемок и практически не отражают влияния параметров струйно-дефлекторного охлаждения. Не ясно, исследовал ли автор этот аспект.

- Восприятие представленных в автореферате результатов затрудняют нерасшифрованные обозначения отдельных параметров (например,

параметра α_{\min} , b на с. 13 и рис. 10, $Re_{\text{отв}}$ на с. 17), а также отсутствие подписей на шкалах осей графиков на рис. 12 и 14.

"Южный федеральный университет", подписанный д.ф.-м.н., заведующим кафедрой Инженерно-Технологической академии ЮФУ Гавриловым А.М., к.ф.-м.н., доцентом кафедры физики Рединым А.А. Отзыв положительный. Замечания:

- На рисунке 8 автореферата приведены зависимости теплоотдачи в лобовой кромке только на основе литературных источников, при этом нет данных, полученных в диссертации, хотя пункт 4 научной новизны содержит соответствующее положение.
- В главе 3 осталось невыясненным, в какой степени шаг отверстий в дефлекторе может влиять на процесс теплоотдачи.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием у них трудов и работ, соответствующих профилю диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны рекомендации по расчету теплоотдачи при струйном охлаждении поверхности с полусферическими выступами и выемками для наиболее теплонапряженных участков профиля турбинных лопаток;

предложены критериальные уравнения для практических инженерных расчетов теплоотдачи при струйном охлаждении поверхностей с полусферическими выступами и выемками;

доказан дополнительный интенсифицирующий эффект от применения полусферических выступов и выемок на охлаждаемой импактными струями поверхности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены фундаментальные результаты экспериментальных исследований конвективного теплообмена при взаимодействии импактных струй и поверхностей с матрицами полусферических выступов в условиях

варьирования режимных и геометрических параметров; полусферических выемок при варьировании режимных параметров, а также результаты визуализации течений при взаимодействии импактных струй с пристенными интенсификаторами;

раскрыты механизмы интенсификации теплообмена при натекании струй на поверхность с полусферическими выступами, а также при взаимодействии импактных струй с выемками при наличии сносящего потока;

изучено влияние геометрических и режимных параметров на теплоотдачу при струйно-дефлекторном охлаждении поверхности модели входной кромки с матрицей полусферических выступов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны рекомендации по расчету струйно-дефлекторного интенсифицированного охлаждения наиболее теплонапряженных участков лопатки, которые могут быть использованы при создании систем охлаждения натуральных ГТД; полученные экспериментальные данные по конвективному теплообмену могут быть использованы при верификации численных моделей для условий, экспериментально исследованных автором;

определены рациональные геометрические соотношения для относительного расстояния между дефлектором и охлаждаемой поверхностью с полусферическими выступами в области лобовой точки, а также рациональные значения плотности расположения выступов для интенсификации теплообмена в области лобовой точки и участка последствия на входной кромке турбинной лопатки;

представлены критериальные уравнения для расчета теплоотдачи при струйном охлаждении наиболее теплонапряженных участков профиля турбинной лопатки с полусферическими выступами и выемками.

Оценка достоверности результатов исследований выявила следующее: для экспериментальных работ использовалось сертифицированное оборудование; кроме этого, достоверность обеспечивается многократным

повторением проводимых измерений, расчетом погрешности полученных экспериментальных данных, а также удовлетворительным согласованием полученных экспериментальных данных с опубликованными в литературе данными других авторов.

Теория в виде физических моделей **построена** на результатах визуализационных экспериментов; она позволяет сформулировать механизм интенсификации теплообмена на исследуемых поверхностях и обосновать положение границ между различными моделями течения в исследованных условиях.

идея базируется на анализе существующих проблем современного двигателестроения;

использовано сравнение полученных автором научных результатов и опубликованных данных по исследованной тематике;

установлено качественное соответствие экспериментальных данных автора с результатами, опубликованными ранее;

использованы современные апробированные методы сбора и обработки опытных данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах исследования, в том числе в получении исходных данных, создании экспериментальных стендов, проведении экспериментов, анализе и обработке опытных данных и сопоставлении полученных результатов с опубликованными данными, в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация представляет собой научно-квалифицированную работу, в которой решается задача по повышению эффективности струйно-дефлекторного охлаждения турбинных лопаток, имеющая существенное значение при создании систем охлаждения современных высокотемпературных газотурбинных двигателей, что соответствует требованиям п. 9 "Положения о порядке присуждения ...".

На заседании от 3 июля 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Иванову Сергею Николаевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 16 докторов наук по специальностям диссертации (8 докторов наук по специальности 01.04.14 - "Теплофизика и теоретическая теплотехника" и 8 докторов наук по специальности 05.07.05 - "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов"), участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени - 24, против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного
совета Д 212.079.02, д.т.н., проф.

Ю.Ф. Гортышов

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н., доцент

А.Г. Каримова

Дата оформления Заключения

3.07.2014 г.

