

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СООБЩЕНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.12.2016 г. протокол № 18

О присуждении Поповичу Сергею Станиславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 19.10.2016, протокол № 15, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, www.jiht.ru, +7 (495) 485-83-45), утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012 г. № 105/нк.

Соискатель Попович Сергей Станиславович 1987 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». В 2013 году окончил очную аспирантуру Объединенного института высоких температур Российской академии наук (с 01.11.2010 г. по 31.10.2013 г.).

Работает научным сотрудником лаборатории 108 (гиперзвуковой аэродинамики) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова) (119192, г. Москва, Мичуринский пр., 1).

Диссертация выполнена в лаборатории 108 (гиперзвуковой аэродинамики) НИИ механики МГУ.

Научный руководитель – академик РАН, профессор, д.т.н. Леонтьев Александр Иванович, НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, лаборатория гиперзвуковой аэродинамики (№ 108), главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Дмитриев Александр Сергеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой низких температур (НТ), Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национального исследовательского университета "МЭИ" (НИУ МЭИ, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, www.mpei.ru, +7 (495) 362-75-60), заведующий кафедрой низких температур (НТ)

Митяков Андрей Владимирович, д.т.н. профессор кафедры «Теплофизики энергетических установок» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого» (СПбПУ, 195251 г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, www.spbstu.ru, +7 (812) 552-67-57)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, www.itp.nsc.ru, +7 (383) 330-70-50) в своем положительном заключении, составленном зав. отделом термогазодинамики, д.т.н., профессором Тереховым В.И. и с.н.с. ИТ СО РАН, к.ф.-м.н. Макаровым М.С., указала, что:

Оценивая диссертационную работу в целом, можно отметить значительные научные результаты, развивающие фундаментальные представления о процессах энергоразделения в сжимаемых потоках.

1. Экспериментально получено увеличение адиабатной температуры стенки в области падения скачка уплотнения на плоскую стенку. Увеличение коэффициента восстановления температуры не превышало 4,5%, что может приводить к снижению температурного напора в устройстве энергоразделения с генераторами скачков уплотнения до 30% в сравнении с энергоразделением в устройстве с гладкими стенками. Показано, что этот эффект носит локальный характер и не может оказать существенного влияния на процесс энергоразделения в целом.

2. В области отрыва пограничного слоя за ребром экспериментально получено уменьшение адиабатной температуры стенки в сравнении с адиабатной температурой гладкой стенки. Максимальное снижение коэффициента восстановления температуры составило 8% при расчете по параметрам набегающего потока и 12% при расчете по локальным параметрам. Показано, что

отрыв потока может приводить к локальному увеличению температурного напора в трубе Леонтьева на 70% в сравнении с температурным напором на гладкой стенке. Отмечено, что положительное влияние (с точки зрения энергоразделения) локальной отрывной зоны сохраняется вниз по потоку на расстоянии десяти и более высот ребра.

3. Представлена методика одновременного определения коэффициента восстановления температуры и коэффициента теплоотдачи в сверхзвуковом потоке на нестационарном режиме работы аэродинамической установки. В экспериментах на нестационарном режиме работы подтвержден эффект уменьшения коэффициента восстановления при течении сверхзвукового потока за ребром. Уменьшение коэффициента восстановления температуры в отрывной области составило от 3,6% при высоте ребра 2 мм до 7,7% при высоте ребра 8 мм в сравнении с коэффициентом восстановления на гладкой стенке. Коэффициент теплоотдачи на оребренной стенке возрастает на 30%. Максимальное увеличение числа Стэнтона наблюдалось при высоте ребра равной толщине пограничного слоя и достигало 40%.

4. Экспериментальные исследования энергоразделения по методу А.И. Леонтьева показали, что установка ребер в сверхзвуковом канале приводит к увеличению статического давления и температуры стенки, что в целом приводит к снижению эффективности энергоразделения не более чем на 11,5%. Показано, что, меняя длину трубы и конфигурацию выходного диффузора можно уменьшить снижение эффективности энергоразделения. Качественно исследования показали, что наличие скачков уплотнения в сверхзвуковом канале устройства энергоразделения (инициированных или возникающих случайно) не приводят к необратимому нарушению его работы.

5. Исследования энергоразделения по методу А.И. Леонтьева при противоточном режиме течения теплоносителя показали повышение его эффективности устройства на 16% по сравнению с прямоточным режимом. С увеличением числа Маха на входе в трубу от 1,9 до 2,5 эффект энергоразделения в канале с оребрением возрастает на 13%. Повышение температуры торможения от 40 до 70°C также привело к увеличению эффекта энергоразделения на 9%.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ОИВТ РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИУ «МЭИ», Институте теплофизики СО РАН, ЦИАМ имени П.И. Баранова, ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского, ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша" и ряде других научных учреждений

Соискатель имеет 44 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 44 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК 4 работы:

1. Попович С.С. Экспериментальное исследование влияния падающего скачка уплотнения на адиабатную температуру стенки в сверхзвуковом потоке сжимаемого газа // Тепловые процессы в технике. 2014. Т. 6. № 3. С.98-104. Вклад диссертанта – 7 страниц из 7.

2. Попович С.С. Экспериментальное исследование влияния ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения газовых потоков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 3. С. 64-80. DOI: 10.7463/0316.0835444. Вклад диссертанта – 17 страниц из 17.

3. Виноградов Ю.А., Егоров К.С., Попович С.С., Стронгин М.М. Исследование тепломассообмена на проницаемой поверхности в сверхзвуковом пограничном слое // Тепловые процессы в технике. 2010. Т. 1. № 1. С. 7-9. Вклад диссертанта – 2 страницы из 3.

4. Попович С.С., Виноградов Ю.А., Стронгин М.М. Экспериментальное исследование возможности интенсификации теплообмена в устройстве безмашинного энергоразделения потоков // Вестник СГАУ. 2015. Т. 14. № 2. С. 159-169. DOI: 10.18287/2412-7329-2015-14-2-159-169. Вклад диссертанта – 10 страниц из 11.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (СПбГУ ГА), г. Санкт-Петербург (д.ф.-м.н., профессор кафедры механики С.А. Исаев) – отзыв положительный, по автореферату имеется следующее замечание:

Вывод 4 содержит оценку влияния высоты ребра на коэффициенты восстановления температуры и теплоотдачи, причем значения высоты ребер приводятся в миллиметрах. Интересно оценить их в безразмерных величинах, например, в долях толщины пограничного слоя на плоской стенке.

2. Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша"), г. Москва (д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. отделения ракетных двигателей твердого топлива С.Г. Черкасов) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В автореферате (например, в последнем выводе) приведены данные по количественному изменению, в процентах, эффекта энергоразделения при различных воздействиях на газовый поток. Однако при этом не оговорено, что именно принимается за комплексную количественную характеристику этого сложного эффекта.

- В автореферате используется странный термин «сжимаемый газ».

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара (д.т.н., профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей В.В. Бирюк) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Графики в автореферате выполнены слишком мелко, что затрудняет возможность их анализа.

- Автор говорит об ударной волне не детализируя вид волны (прямой, косой, отсоединенный скачок). Определение вида скачка дает более полную картину улучшения безмашинного энергоразделения.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ" (КНИТУ-КАИ), г. Казань (д.т.н., профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения Ю.Ф. Гортышов и д.т.н., профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения И.А. Попов) – отзыв положительный, с замечаниями:

- К недостаткам работы можно отнести отсутствие сравнения полученных экспериментальных результатов с возможностями современного численного моделирования исследуемых задач

- Представляет интерес полученный эффект увеличения адиабатной температуры при падении ударной волны на стенку. Однако в автореферате не представлены рекомендации по учету данного эффекта при инженерных разработках – расчете коэффициента теплоотдачи в практических задачах при создании высокоэффективного теплообменного оборудования, средств тепловой защиты и систем аэродинамического нагрева.

- Требуется разъяснения указанная в автореферате фраза «По теме диссертации опубликовано 44 научные работы (16 статей, 28 тезисов докладов и материалов конференций), из них 4 статьи в журналах из списка ВАК», а список публикаций автора по теме диссертации содержит только 4 статьи в журналах из

списка ВАК и 11 тезисов докладов и материалов конференций. Это неполный список? Почему?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается проводимыми ими исследованиями по теме диссертации.

Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук в качестве ведущей организации обосновывается тем, что на сегодняшний день она является одним из ведущих научных учреждений в России, занимающимися исследованиями теплообмена и газодинамики в до- и сверхзвуковых потоках, в том числе вопросами безмашинного энергоразделения потоков.

1. В.И. Терехов, С.В. Калинина, К.А. Шаров. Особенности течения и теплообмена при взаимодействии струи с преградой в форме сферической каверны со скругленной кромкой // Теплофизика высоких температур, 2012. Т. 50, № 2. С. 318.

2. N.E. Shiskin. Laws of jet mixing of the swirled flows in a pipe // Journal of energy and power engineering. 2013. №.7. P. 1223/.

3. М.С. Макаров, С.Н. Макарова. Эффективность энергоразделения при течении сжимаемого газа в плоском канале // Теплофизика и аэромеханика, 2013. Т. 20, № 6. С. 777-787.

4. M.S. Makarov, S.N. Makarova, A.A. Shibaev. The numerical study of energy separation in a two-cascade Leontiev tube // Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 754. P. 1-4.

Выбор Дмитриева Александра Сергеевича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом в области термогидродинамики монодисперсных систем, тепловых процессов в наноструктурах, новых видах конверсии энергии:

5. A.S. Dmitriev, S.A. Romashevskiy, M.B. Agranat. Thermal Training of Functional Surfaces Fabricated with Femtosecond Laser Pulses // High Temperature, 2016, Vol. 54, No. 3, pp. 461-465.

6. A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature // Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37.

7. А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности тепломассообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и

наномасштабными поверхностями энергетического оборудования // Вестник МЭИ, 2013, №2, с. 1-14.

Выбор Митякова Андрея Владимировича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом в области теплообмена в энергетическом оборудовании, измерительной техники и системах автоматизации экспериментов:

1. С.А. Исаев, А.С. Гузеев, С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков. Визуализация течения в сферической лунке на стенке канала прямоугольного сечения гидродинамической трубы и численная идентификация струйно-вихревых структур // Инженерно-физический журнал, 2015. Т. 88, № 2, с. 438-354.

2. С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков, А.И. Походун, Н.А. Соколов, М.С. Матвеев. Градуировка градиентных датчиков теплового потока // Измерительная техника. 2011, № 10, стр. 36-38.

3. S.Z. Sapozhnikov, V.Y. Mityakov, A.V. Mityakov. Heat flux measurement in boiler furnaces: methods, sensors, first results // Heat transfer research. 2011. V. 42. N. 6, pp. 501-522.

4. H.K. Jussila, A.V. Mityakov, J. Pyrhonen, S.Z. Sapozhnikov, V.Y. Mityakov. Local heat flux measurement in a permanent magnet motor at no load // Transactions on Industrial Electronics. 2013. V. 60. N. 11. P. 4852-4860.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получены эффекты для адиабатной температуры стенки: рост в локализованной области падения ударной волны на плоскую стенку и значительное уменьшение в области отрыва пограничного слоя за ребром в сравнении с течением на гладкой стенке;

получен эффект увеличения коэффициента теплоотдачи при обтекании сверхзвуковым потоком ребра на величину около 30%, при этом максимальное увеличение числа Стэнтона наблюдалось при высоте ребра равной толщине пограничного слоя;

адаптирована методика одновременного определения коэффициента восстановления температуры и коэффициента теплоотдачи при обтекании стенки сверхзвуковым потоком в процессе запуска аэродинамической установки до выхода на равновесный тепловой режим;

изучено влияние на эффект энергоразделения таких факторов, как: направление движения теплоносителей в устройстве (прямоточное,

противоточное), изменение температуры торможения, числа Маха в сверхзвуковом потоке и длины сверхзвукового канала;

новых понятий и терминов не вводилось.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к тематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована методика одновременного определения адиабатной температуры стенки и коэффициента теплоотдачи в сверхзвуковом потоке на нестационарном режиме;

показано, что при расчете коэффициента теплоотдачи в области падения ударной волны на стенку необходимо учитывать поправку на локальное увеличение адиабатной температуры стенки;

раскрыто влияние возникающих ударных волн в устройстве энергоразделения на эффекты нагрева и охлаждения потоков на выходе из устройства.

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

показано, что возникновение ударных волн в устройстве безмашинного энергоразделения не приводит к потере работоспособности устройства;

представлены таблицы с измеренным распределением температуры стенки и статического давления в сверхзвуковом канале устройства энергоразделения, а также значения эффектов нагрева и охлаждения потоков как в устройстве с гладкими стенками, так и при наличии ребер, что может быть использовано для верификации численных моделей расчета подобных устройств;

представлены исходные коды программ тарировки датчиков и автоматизации эксперимента в среде LabView, что может быть использовано специалистами, занимающимися измерительной техникой и программированием эксперимента;

сделаны практические рекомендации о целесообразности использования ребер в сверхзвуковом канале устройства энергоразделения в случае полностью расширяющегося канала без цилиндрических участков, а также возможности использования конических сопел взамен профилированных;

на созданном экспериментальном стенде проводится специальный практикум студентов 4 курса механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ОИВТ РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, МГТУ имени Н.Э.

Баумана, НИУ «МЭИ», Институте теплофизики СО РАН, ЦИАМ имени П.И. Баранова, ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского, ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша" и ряде других научных учреждений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты исследования получены с использованием общепринятых методик и современного лабораторного оборудования, в том числе тепловизионной камеры ThermoCAM SC3000, теневого прибора Теплера ИАБ-451, термопар с термокомпенсацией, средств автоматизации LabView;

представлена методика и результаты расчета неопределенностей измерений основных параметров, определяемых в эксперименте;

результаты исследования обтекания сверхзвуковым потоком гладкой стенки без вносимых возмущений хорошо согласуются с экспериментальными, аналитическими и расчетными данными, полученными другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в получении результатов, изложенных в диссертации. Автор диссертации был создан экспериментальный стенд для проведения исследования. При непосредственном участии автора разработана методика проведения исследования, произведены монтаж и тарировка сенсорного оборудования стенда. Автор принимал участие в разработке, отладке и тестировании программ автоматизации эксперимента и обработки опытных данных. Подготовка основных публикаций по выполненной работе осуществлялась совместно с соавторами при определяющем вкладе соискателя. Результаты работы были представлены лично диссертантом на 11 международных и 25 российских конференциях. На основании проведенных исследований соискателем были сформулированы положения, выносимые на защиту.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.

На заседании 21 декабря 2016 года диссертационный совет Д 002.110.02 принял решение присудить Поповичу С.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 12 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 10 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая

теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
к.ф. - м.н.

Г.И. Канель

М.М. Васильев

М.П.

