

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАФИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

заседание диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук
от 21 декабря 2016 г. (протокол №18)

Повестка дня:

Защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Поповича Сергея Станиславовича

на тему

«Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения»

Специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Москва – 2016

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук
Протокол №18 от 21 декабря 2016 г.

Председатель – Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Канель Г.И.

Секретарь – Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
к.ф.-м.н., с.н.с. Васильев М.М.

Председатель:

Уважаемые члены Совета, кворум имеется. Совет утверждён в составе **31** человека.
На заседании присутствуют **22** члена совета, из них докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **10**.

1	Фортов В.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Ваулина О.С.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Отсутствует
12	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
13	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
14	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
15	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Отсутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
25	Петров О.Ф.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Отсутствует
28	Сон Э.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова) Поповича Сергея Станиславовича на тему «Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Диссертация выполнена в лаб. №108 лаборатории гиперзвуковой аэродинамики Научно-исследовательского института механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119192, Москва, Мичуринский пр., 1, <http://www.imec.msu.ru/>).

Научный руководитель:

Леонтьев Александр Иванович, академик РАН, профессор, доктор техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории гиперзвуковой аэродинамики (№ 108) НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Официальные оппоненты:

1. Дмитриев Александр Сергеевич – гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой низких температур (НТ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национального исследовательского университета "МЭИ", г. Москва

2. Митяков Андрей Владимирович – гражданин РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизики энергетических установок» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого», г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева.1).

На заседании присутствуют: официальные оппоненты: д.т.н. Дмитриев Александр Сергеевич, д.т.н. Митяков Андрей Владимирович, научный руководитель Поповича С.С. академик РАН, профессор, д.т.н. Леонтьев Александр Иванович.

СТЕНОГРАММА

Есть возражения по повестке дня? Нет. Повестка дня утверждается единогласно. Слово предоставляется ученому секретарю Васильеву М.М.

Ученый секретарь:

Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.

Председатель:

Есть ли вопросы по документам? Нет. Слово предоставляется Поповичу Сергею Станиславовичу для изложения основных положений диссертационной работы.

Попович С.С.:

Докладывает диссертационную работу (выступление не стенографируется, доклад Поповича С.С. прилагается).

Председатель:

Спасибо, Сергей Станиславович. Пожалуйста, вопросы к докладчику.

Медин С.А.:

Покажите формулу для теплового потока с коэффициентами теплоотдачи. Когда Вы ставите ребра, Вы турбулизуете пограничный слой, правильно?

Попович С.С.:

Да.

Медин С.А.:

Теперь, значит, мы смотрим, что у Вас красным отмечены два физических фактора, которые должны вступить в игру сейчас?

Попович С.С.:

Да.

Медин С.А.:

Какие здесь тенденции? Какие механизмы здесь работают таким образом, что возникает полная компенсация положительного и отрицательного эффекта?

Попович С.С.:

Спасибо за вопрос. Действительно, как я показал, температура адиабатной стенки у нас возросла. То есть можно сразу сказать, что коэффициент восстановления возрос в области падения ударной волны и в отрывной области. Но, как я также показывал, наблюдается и увеличение коэффициента теплоотдачи в области взаимодействий ударных волн. И рост довольно значительный, в нашем случае, если рассчитать его, то около 80%. И получается взаимная компенсация в данном случае, правильно, как Вы и сказали.

Медин С.А.:

Рост коэффициента восстановления снижает тепловой поток?

Попович С.С.:

Да.

Медин С.А.:

А увеличение коэффициента теплоотдачи – это альфа красное (на слайде), наоборот, улучшает?

Попович С.С.:

Да. Получается так.

Медин С.А.:

И они как бы работают в противоположную сторону и ведут примерно к компенсации?

Попович С.С.:

Да. Но при этом, как я показал, на локальном уровне есть даже режимы, когда одновременно и уменьшается коэффициент восстановления и возрастает коэффициент теплоотдачи. Но это вопрос уже дальнейших исследований, как можно применить конкретно вот этот эффект в области отрыва за ребром, где наблюдается такая картина.

Медин С.А.:

Спасибо.

Председатель:

Пожалуйста, еще вопросы?

Председатель:

Вопросов больше нет? Тогда слово научному руководителю – Леонтьеву Александру Ивановичу. Александр Иванович, пожалуйста.

Леонтьев А.И.:

Зачитывает отзыв (выступление не стенографируется, письменный отзыв имеется в деле)

Председатель:

Спасибо, Александр Иванович. Слово предоставляется ученому секретарю.

Ученый секретарь:

Уважаемые коллеги, в качестве **ведущей организации** предложен **Институт теплофизики имени Кутателадзе Сибирского отделения Академии наук**. В деле имеется отзыв. С Вашего позволения отзыв целиком я зачитывать не буду, остановлюсь только на его основных деталях. Если будут вопросы, я отвечу дополнительно. (*Согласны*). В отзыве содержится структура работы, сформулирована актуальность работы. Основное содержание и основные выводы, которые мы с Вами заслушали в ходе презентации соискателя. Также имеется ряд **замечаний**, на которых я остановлюсь подробно.

1. Обзор литературы по теме диссертации представлен излишне детализированным. Не достаточно полно дан критический анализ работ и выводов по отношению к проблематике исследования.

2. Автор не привёл сравнения полученных экспериментальных данных по энергоделению в трубе Леонтьева с гладкими стенками с известными результатами теоретических исследований, хотя в диссертации имеются ссылки на результаты этих исследований.

3. К анализу эффективности энергоразделения автор подходит только с позиций снижения температуры воздуха на выходе из дозвукового канала и повышения температуры на выходе из сверхзвукового канала устройства. Автор не использует известных понятий о температурной эффективности и адиабатном КПД процесса энергоразделения и не предлагает иных подходов, позволяющих учесть затраты (падение полного давления в канале) на осуществление энергоразделения.

4. Формулировка научной новизны звучит размыто, что затрудняет выделение главного достижения, полученного автором.

5. В тексте диссертации и автореферата встречаются орфографические и грамматические ошибки.

При этом приведенные замечания не снижают общей высокой оценки полученных результатов. Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, а автор заслуживает присуждения ему искомой степени. Отзыв составили заведующий отделом термогазодинамики **Терехов Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, и кандидат технических наук, старший научный сотрудник **Макаров Максим Сергеевич**, и подписан ученым секретарем **Куйбиным Павлом Анатольевичем**. Отзыв заверен академиком **Алексеевым**.

Также в деле имеется **4 отзыва на автореферат** соискателя. Все они **положительные** и имеют ряд замечаний.

(Первый отзыв). Первый отзыв поступил из **Санкт-Петербургского университета гражданской авиации**, составлен доктором физико-математических наук, профессором **Исаевым**. Отзыв положительный, имеются 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.

(Второй отзыв). Второй отзыв поступил из **Исследовательского центра имени Келдыша**, Москва, подписан доктором физико-математических наук, профессором **Черкасовым**. 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».

(Третий отзыв). Третий отзыв поступил из **Самарского государственного исследовательского университета имени академика Сергея Павловича Королева**. 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.

(Четвертый отзыв). Четвертый отзыв на автореферат поступил из **Казанского национального исследовательского технического университета Туполева (КАИ)**, подписан доктором технических наук, профессором **Гортышовым** и доктором технических наук, профессором **Поповым**. 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 – цитата: «По теме диссертации опубликовано 44 научные работы (16 статей, 28 тезисов докладов и материалов конференций), из них 4 статьи в

журналах из списка ВАК», – цитата закончена. 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?

На этом замечания все.

Председатель:

Спасибо, Михаил Михайлович. Сергей Станиславович, пожалуйста.

Попович С.С.:

Спасибо большое. В начале по ведущей организации. Первое замечание было о том, что излишне детализирован обзор и не хватало критики. Здесь (на слайдах) как раз цель работы представлена: мы искали способы снижения адиабатной температуры стенки. В процессе обзора литературы я нашел различные методы, различные статьи, в которых речь идет о коэффициенте восстановления температуры в сверхзвуковом потоке, и детально их представил. В диссертации с ними можно ознакомиться.

Что касается отсутствия сравнения с теоретическими исследованиями. В Институте теплофизики активно занимаются этой задачей, также есть исследовательские группы в Московском университете, в Бауманском университете, в Ульяновском университете. Там есть и численные работы, и теоретические. Конечно, я с ними со всеми ознакомился. Но в данном случае у нас была точно поставленная задача: необходимо было найти то, за счет чего можно повысить эффект энергоразделения. А в большинстве исследований решаются такие идеализированные задачи, например, когда плоская разделяющая стенка, а не коаксиальный канал, как в нашем случае, тем более не конический расширяющийся канал, который у нас в реальной конструкции есть.

Также было замечание, что не использовали для оценки эффективности известные способы. На самом деле эта задача довольно актуальная – как правильно оценить эффективность данного устройства, потому что если оценивать, например, температурным коэффициентом полезного действия, то есть, если по дозвуковому потоку смотреть: насколько мы охладили поток отнести к адиабатическому расширению при таком же изменении давления – начального и конечного. У нас по дозвуковому потоку охлаждаем на 20 градусов, при этом давление полное практически сохраняется, то есть температурный КПД получается больше единицы, двойка или даже еще больше. По этому параметру наше устройство даже выигрывает у вихревой трубы, но надо понимать, что есть еще потери по сверхзвуковой части и как их учесть в данном случае – это актуальная задача.

Есть еще адиабатный КПД – когда температурный КПД умножают на относительный расход воздуха, – но это тоже такой искусственный параметр, который, наверное, не отображает всю картину целиком. По этому параметру устройство энергоразделения оказывается менее эффективным, чем вихревые трубы, для которых адиабатный КПД составляет порядка 40%, а если в нашем устройстве с 20 градусами охлаждения рассчитаем, то получится около 20% КПД. По этому КПД есть проигрыш на сегодняшний день вихревой трубе.

Далее замечания были по ошибкам. Да, я прошу прощения за сделанные ошибки – орфографические, грамматические.

Переходя дальше к следующему в отзывах. Сжимаемый газ – это в нашей практике устоявшийся термин, мы его везде используем в публикациях, таким образом подчеркиваем, что скорости у нас больше 0.3 Махов и необходимо учитывать эффект сжимаемости.

Следствием этого является перераспределение адиабатной температуры стенки и необходимо использовать другие соотношения при расчете коэффициента теплоотдачи.

Еще было замечание по неудачным формулировкам научной новизны. С этим я готов согласиться. Наверное, что-то можно было сказать более точно.

Председатель:

Еще были замечания о расплывчатости выводов и большом количестве публикаций.

Попович С.С.:

Да, все публикации, к сожалению, не вошли в автореферат из-за ограниченности объема. Они все приведены в диссертации, весь список есть.

По выводам: было замечание по коэффициенту теплоотдачи в области взаимодействия ударной волны с пограничным слоем. У меня, к сожалению, не все слайды вошли, которые я хотел рассказать, что-то пришлось исключить.

Председатель:

Я бы Вам посоветовал согласиться с этим замечанием, а за основной вывод мы примем то, что сформулировал Александр Иванович. Вывод должен быть коротким.

Попович С.С.:

Я согласен.

Ученый секретарь:

Еще влияние высоты ребра в миллиметрах – это функция установки Вашей, а не в безразмерном виде. И возможность оценки в безразмерных величинах, например, относительно толщины пограничного слоя.

Попович С.С.:

Да, у меня длина обезразмерена, в данном случае это отношение координаты к толщине пограничного слоя. Ребра я здесь (*на слайде*) не относил к толщине, потому что была еще гладкая стенка. Да, наверное, было бы более наглядно. В то же время я все эти данные привел. Если необходимо для моделирования, то здесь это всё можно рассчитать.

Председатель:

Хорошо. Спасибо, Сергей Станиславович. Совет удовлетворен?

(В зале) *Да.*

Председатель:

Переходим к отзывам оппонентов. И слово предоставляется профессору Андрею Владимировичу Митякову из Санкт-Петербурга. Пожалуйста. Санкт-Петербургский университет имени Петра Великого.

Митяков А.В.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо, Андрей Владимирович. Сергей Станиславович, пожалуйста, ответы на замечания.

Попович С.С.:

Спасибо, Андрей Владимирович. Я приношу извинения за то, что не соблюдал все требования ГОСТа. Постараюсь учесть на будущее все эти замечания.

Что касается того, что недостаточно полно были раскрыты в обзоре задачи по взаимодействию ударных волн с пограничным слоем и по отрывным течениям. Каждая из этих задач является уже классической для термогазодинамики и исследуется на протяжении

десятков лет, более 60 лет по ударным волнам. И в то же время остается много задач, которые необходимо решить. Моделированию во многом поддаются сейчас задачи с ламинарным пограничным слоем. С турбулентным несколько хуже всё. Здесь до сих пор используются полуэмпирические методы исследования и экспериментальные. Я в своей работе опирался в основном на экспериментальные методы. Обзор литературы состоял в основном из этих работ.

Далее по коэффициенту теплоотдачи в сверхзвуковом потоке. Я сделал вывод на основании того, что температура адиабатной стенки возрастает в области взаимодействия ударной волны с пограничным слоем, то есть коэффициент восстановления температуры увеличивается. Этот эффект необходимо учитывать при расчете коэффициента теплоотдачи. Вообще определение адиабатной температуры стенки является одной из проблем в данном случае (*на слайдах*), потому что ее непосредственное измерение затруднено. Во многих задачах при обработке результатов исследований предполагается, что коэффициент восстановления температуры в области падения ударной волны не изменяется – считают, что он постоянный. Как показало наше исследование, действительно увеличивается температура адиабатной стенки. И если перепад температур в аэродинамической трубе не позволяет создать большой температурный напор в устройстве, то неточности в определении адиабатной температуры стенки сказываются в итоге на ошибке в определении числа Стэнтона. Такие ошибки, согласно Моффату, могут составлять до 50%, что для коэффициента теплоотдачи довольно существенно.

В то же время была найдена такая работа по трехмерному взаимодействию ударных волн со стенкой, где в области взаимодействия тоже отмечался рост температуры адиабатной стенки. Таких работ вообще не много, где этот эффект был, и это одна из таких работ. А вот в работе Ми, Чу и Айрлэнда оказывается, что если использовать коэффициент восстановления температуры 0.91 вместо 0.89, а в нашем случае он возрастает до 0.92, то оценка повышения числа Стэнтона в сравнении с гладкой стенкой увеличивается до 1.5 раз, очень существенное увеличение. Мы в нашем эксперименте не измеряли коэффициент теплоотдачи при взаимодействии ударной волны со стенкой, мы пользовались в данном случае полуэмпирическими соотношениями.

Что касается неопределенностей измерений. Они оценивались по методике Моффата для 95% вероятностного интервала, стандартная методика. По неопределенности для термопары я согласен. В той же работе Моффата в начале идет много разговоров по истинному значению того, неопределенность чего мы хотим измерить: какая температура стенки – либо это температура пристенного слоя газа, либо это температура термопары, либо температура стенки. От этого еще зависит, какая будет неопределенность. В нашем случае, в той фразе, насколько я помню, речь шла о температуре торможения. У нас термопара не была заделана, она стояла в потоке в подводящем патрубке, соответственно, там заделки не было и поэтому мы не учитывали погрешность, связанную с заделкой.

Председатель:

Спасибо. Совет удовлетворен?

(В зале) Да.

Председатель:

Переходим к отзыву второго оппонента, профессор Александр Сергеевич Дмитриев, МЭИ.

Дмитриев А.С.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо, Александр Сергеевич. Сергей Станиславович, пожалуйста.

Попович С.С.:

По поводу тепловизионных картин в диссертации, термограмм – я прошу прощения, недостаточно хорошее качество получилось при распечатке. Я их в диссертации приводил как демонстрацию горячих пятен, которые наблюдаются в тепловизор, что действительно в области падения ударной волны фиксируется увеличения адиабатной температуры стенки. Было, насколько я помню, две картины для разных чисел Маха. Что касается того, варьировали или нет угол наклона клина: да, мы варьировали. В диссертацию вошел именно такой угол клина, потому что, во-первых, он подбирался исходя из того, что угол падения скачка уплотнения должен превышать критический перепад давления, чтобы наблюдался отрыв пограничного слоя, что подбиралось по соответствующим таблицам. Здесь наблюдался отрыв пограничного слоя и интенсификация теплоотдачи в данном случае максимальна. Прежде всего, вот этим обосновывалось. Угол наклона самого скачка мы меняли числом Маха, при разных числах Маха был разный наклон, была разная интенсивность скачка уплотнения. То есть мы таким образом исследовали это влияние. На мой взгляд, эта работа требует еще продолжения. Как я говорил, необходимо также определять коэффициент теплоотдачи в области падения ударной волны на стенку и действительно исследовать более подробно, как угол наклона скачка влияет на количественные соотношения, как они повлияют и на коэффициент восстановления, и на коэффициент теплоотдачи. Это, наверное, задача еще будущего будет.

По поводу оптимизационной задачи с ребрами, при использовании ребер. Мы пришли к выводу, что если заменить последний участок, цилиндрический, на такой же, но сделанный из нетеплопроводного материала – из капролона, в данном случае мы получили вообще идентичные параметры энергоразделения на выходе из устройства. И на основании этого мы сделали вывод, что цилиндрическая часть работает наименее эффективно и, действительно, если был бы полностью расширяющийся канал, то возможно удалось бы повысить эффект. Но сильно его повысить таким способом не удастся. В то же время можно оптимизировать, например, с помощью такой идеи: когда использовать не один сверхзвуковой канал, а много каналов сверхзвуковых и один дозвуковой, то есть как теплообменник, и в каждом канале, например, поставить по одному ребру. В данном случае потери скорости будут не такие значительные, но в то же время эффективность может возрасти. Это одна из таких идей. Здесь много идей возникает.

Председатель:

Спасибо. Теперь у нас время для дискуссии. Есть ли желающие? Пожалуйста, Алексей Юрьевич.

Вараксин А.Ю.:

Не могу удержаться сказать несколько слов. Сергей Станиславович представляет молодежный коллектив, который в последнее время сформировался вокруг Александра Ивановича Леонтьева. Здесь два ВУЗа задействовано, первый – не совсем ВУЗ – это НИИ механики МГУ, и МГТУ имени Баумана. Значительная часть этого молодежного коллектива являются выпускниками кафедры ЭЗ, заведующим которой я являюсь. Безусловно,

тема очень актуальна, очень обстоятельно было выступление второго оппонента, который все необходимые для квалификационной работы вещи озвучил. Поэтому хотелось бы свои соображения, свой акцент сделать. Безусловно, все мы знаем актуальность этой темы – безмашинное энергоразделение. Знаем это устройство, которое в начале 30-х годов Ранк и Хилш предложили. Казалось бы, что проще: на входе небольшое давление сжатого воздуха, 20 градусов: на одном выходе получается +40 градусов подогрев, на другом – расхолаживание. Получается +60 горячий поток, -20 холодный. Тем не менее, это изобретение инженерами было сделано, и до сих пор нет законченной модели, нет объяснения, что там внутри происходит. Это сдерживает применение, потому что известны минусы этого устройства. Предлагаемое здесь устройство, идея которого была предложена Александром Ивановичем, дает надежды на развитие работ и, если там два иностранца, то здесь все шансы появляются сделать свое, российское устройство, которое найдет большое практическое применение. Что касается данной работы, то, безусловно, здесь сильные стороны уже были озвучены. Это экспериментальная направленность, это прекрасная материальная база, которая имеется – это редкость в наших условиях, это приличная диагностика, это критическая масса в виде молодых людей, которые окружают Александра Ивановича. В связи с этим и получается, что проведен колоссальный объем эксперимента. Безусловно, и дальнейшее развитие. И по сравнению с вихревой трубой здесь другая несколько ситуация получилась, то есть идеология задана – вектор, но это не предполагает, что данную идею – идею Александра Ивановича – нельзя ее развивать. Наоборот – нужно ее развивать. Поэтому, безусловно, это Вам задача на будущее. По этой тематике, по близкой – это не первая кандидатская диссертация и надеюсь, что не последняя, так же, как и докторские, надеюсь, со временем продолжатся. Я лично знаю эту установку, лично знаю Сергея Станиславовича и всю эту команду молодежную. Поэтому считаю, что данная работа по квалификации заслуживает искомую степень. Я буду эту работу поддерживать и призываю всех членов Совета последовать за мной.

Председатель:

Спасибо. Есть еще желающие?

Медин С.А.:

Я хочу сказать, что если следовать двум принципиальным критериям, по которым мы оцениваем диссертационные работы, то, бесспорно, доложенная нам сегодня работа обладает новизной и, как здесь говорилось, что основная новизна в данном исследовании заключается в ответе на вопрос: каким образом будут влиять эффекты ударно-волнового воздействия и турбулизации потока на эффективность машины, которая здесь сегодня нам представлена. Второй критерий – это достоверность. Здесь очень подробно обсуждалась и в докладе, и в дискуссии, и в отзывах оппонентов огромная работа, которая была проведена по определению погрешностей в измерениях, в экспериментах и в полученных данных. Применена современная, совершенная – я бы даже сказал, – техника диагностики. Всё это позволяет утверждать, что данные, которые мы сегодня видим перед собой, вполне надежные. Поэтому, если базироваться только на этих двух критериях, то, бесспорно, работа заслуживает поддержки и положительного решения нашего Ученого Совета, что я предложил бы и сделать. Теперь, если говорить об эмоциональных переживаниях, которые вызывает эта работа, то конечно меня сегодня воодушевило то, что впервые представлен макет устройства, в котором вживую происходит энергоразделение. Осталось, по-

видимому, сделать еще несколько шагов для того, чтобы этот макет лабораторный перерисовать в реально масштабную машину и посмотреть, как она действует в технике. И конечно производят впечатление данные по измерению энергоэффективности, которые представлены в заключительной части диссертации. Действительно вживую получен теплый поток и холодный поток, и получается так, что прототип машины работает. И дальше нужно сделать техническую работу для того, чтобы эту машину построить в реальности.

Председатель:

Спасибо. Есть ли еще желающие?

Воробьев В.С.:

Не могу удержаться. Сергей Станиславович сделал очень обоснованные выводы, обоснованные хорошим экспериментом. Здесь звучало, что современные методики были использованы. Я хочу сказать, что в наше время не надо забывать и о старых методиках, о достаточно необходимых даже в наше время. Это шлирен системы ИАБ-451, которые самые лучшие в мире: по операции 5-го порядка на 240 мм она убирает, лучше такой нет. И вот использование подобных методик тоже является положительной характеристикой этой работы, дополнительно показывающей, где именно нужно смотреть тепловизором и так далее. Вот этот элемент работы я хотел бы отразить, так как не так много организаций, в которых используют ИАБ-451, тогда как это самая лучшая машина, которая позволяет получать надежные и хорошие результаты. И, безусловно, я призываю поддерживать эту работу.

Председатель:

Спасибо. Еще желающие есть выступить? Тогда предоставим возможность Сергею Станиславовичу сделать заключительное слово.

Попович С.С.:

Прежде всего, большое спасибо членам Ученого Совета за проявленный интерес к данной работе и к докладу. Ученому секретарю, Михаилу Михайловичу, спасибо за организацию работы. Хотел бы выразить также благодарность оппонентам – Александру Сергеевичу Дмитриеву, профессору из МЭИ, и Андрею Владимировичу Митякову из Санкт-Петербургского университета, – большое спасибо за оппонирование работы и за критический подход. Постараюсь сделанные замечания учесть в дальнейшей работе. Искреннюю признательность хотел бы выразить своему научному руководителю – Александру Ивановичу Леонтьеву – за постановку данной задачи, за руководство работой на всех этапах. Также своим коллегам из Института механики Московского университета, которые занимаются эффектом энергоразделения, они впервые получили экспериментально этот эффект, о котором я Вам сегодня рассказывал, в том числе. Моя задача заключалась в модификации стенда, но стенд был создан моими коллегами, сотрудниками Института механики – Здитовцом Андреем Геннадьевичем, Виноградовым, Стронгиным и другими. Большое спасибо научно-организационному отделу – Валентине Степановне и Ольге Александровне. Большое спасибо за внимание.

Председатель:

Спасибо. Мы приступаем к выборам счетной комиссии. Михаил Михайлович считает, что комиссия, которая была организована на первой защите, работала успешно, не допустила фальсификаций, и поэтому он предлагает оставить тот же состав. Кто за? Есть ли кто-нибудь против? Воздержался? Приступаем к голосованию. (*Счетная комиссия выби-*

рается единогласно. Председатель: Воробьев В.С., члены комиссии: Агранат М.Б., Еремин А.В.)

(Проводится процедура тайного голосования).

Председатель:

Слово для оглашения результатов тайного голосования предоставляется председателю счетной комиссии Воробьеву Владимиру Сергеевичу.

Воробьев В.С.:

Уважаемые члены Совета. Разрешите огласить результаты голосования по диссертации Поповича Сергея Станиславовича на соискание ученой степени кандидата технических наук. Присутствовало на заседании 22 члена Совета, в том числе докторов по профилю рассматриваемой диссертации – 10, роздано бюллетеней 22, осталось не розданных – 9, в урне оказалось 22 бюллетеня.

Результаты голосования по вопросу присуждения степени кандидата технических наук **Поповичу Сергею Станиславовичу:**

За – 22, против – нет, недействительных – нет.

Председатель:

Кто за то, чтобы утвердить протокол счетной комиссии? Против? *(Протокол счетной комиссии утверждается единогласно)*. Теперь диссертационный совет должен рассмотреть проект заключения по диссертации Поповича С.С. и утвердить его. Проект заключения роздан. У кого есть замечания или дополнения?

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).

Предлагается принять заключение с обсужденными нами изменениями. Прошу голосовать. Кто за? Против? Нет. *(Утверждается единогласно открытым голосованием).*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ 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 Пет-

ра 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 температуры 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 сверхзвуко-

вом 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 теплообмена 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. отделе-

ния 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 ThermaCAM 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.

