

СВЕДЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Сидху Джуниор Саржит Сингх

Тема диссертации: Волновое сопротивление каналов сложных форм с ромбической рельефной структурой поверхности

Специальность: 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

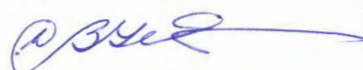
Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: На заседании 25 декабря 2018 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Сидху Джуниор Саржит Сингх ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Козлов А.А., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К.

Ученый секретарь диссертационного совета

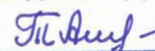
Д 212.125.08, д.т.н., профессор

Ю.В. Зуев



И.о.начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.12.2018 г. № 31

О присуждении СИДХУ Джуниор Саржит Сингх, гражданину Малайзии, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Волновое сопротивление каналов сложных форм с ромбической рельефной структурой поверхности» по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 22.10.2018 г. (протокол № 22) диссертационным советом Д 212.125.08, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4. Приказ о создании диссертационного совета - № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель СИДХУ Джуниор Саржит Сингх, 1984 года рождения, в настоящее время осваивает программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации со сроком окончания в 2018 году.

В 2011 году соискатель окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Ракетные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Семенов Василий Васильевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Ракетные двигатели», профессор.

Официальные оппоненты:

- Мартыненко Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», отдел «Специальные авиационные двигатели и химмотология», научный сотрудник;

- Гапонов Валерий Дмитриевич, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-производственное объединение энергетического машиностроения им. академика В.П. Глушко», отдел № 769, начальник сектора дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Крюковым Игорем Анатольевичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории радиационной газовой динамики; Суржиковым Сергеем Тимофеевичем, академиком Российской академии наук, заведующим лабораторией радиационной газовой динамики и утвержденном Якушем Сергеем Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, директором института указала, что диссертация СИДХУ Джуниор Саржит Сингх представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему.

Практическую значимость представляют математически строгие поля возмущений давления, так как они будут использоваться для расчетов локальных коэффициентов волнового сопротивления и последующей оценки потерь тяги высотного насадка, за счет волнового сопротивления его рельефных стенок. Практически значимыми являются также и особые плоские рельефы, так как применение эталонных насадков, имеющих одинаковый особый рельеф, но различные длины, повысит точность измерений на дифференциальной установке.

Результаты диссертации СИДХУ Джуниор Саржит Сингх могут быть использованы на предприятиях авиационного и ракетного двигателестроения, которые специализируются на выпуске и разработке двигателей 1-ой и 2-ой ступеней космических летательных аппаратов. Разработанный соискателем метод расчета волнового сопротивления поможет оценить потери тяги в сопловых блоках ракетных двигателей, вызванные волновым сопротивлением ромбических рельефов, которые образуются на композитных стенках высотного насадка в случае, когда они обтекаются сверхзвуковым потоком продуктов сгорания, температура торможения которого больше предела термостойкости композита.

Работа отвечает требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор – СИДХУ Джуниор Саржит Сингх достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 1,5 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы. Из 5 работ 2 – статьи, 3 – тезисы докладов на научных конференциях. При этом 4 работы написаны в соавторстве, 1 – единолично.

Научные работы соискателя посвящены:

- обоснованию в рамках линейной теории аналитических формул,

описывающих зависимость полных коэффициентов волнового сопротивления периодических плоских рельефов, имеющих переднюю и заднюю кромки, от их параметров подобия.

- точному решению краевой задачи обтекания однородным потоком трехмерных рельефов, заданных суммами плоских синусоидальных волн. Математически строгие поля коэффициента давления, найденные в результате точного решения краевых задач сверхзвукового обтекания бесконечных ромбических рельефов, заданных суммами плоских синусоидальных волн, будут использоваться в качестве исходных данных в оценочных расчетах потерь тяги высотных насадков из-за волнового сопротивления их рельефных стенок.

- численному моделированию с помощью CFD-продукта ANSYS сверхзвуковых течений, возникавших на газодинамическом стенде при измерениях волновых сопротивлений сопловых насадков, стенки которых имели ступенчатые ромбические рельефы с разными углами ромба.

Авторский вклад заключается в обобщении результатов исследований и подготовке публикаций в рецензируемых журналах.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значительные работы:

1. Сидху Д.С.С., Волков В.А., Семенов В.В. Дефект волнового сопротивления при плоском обтекании периодических рельефов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. № 2. С. 51 – 56.
2. Сидху Д.С.С., Волков В.А., Семенов В.В. Волновое сопротивление периодических плоских рельефов // Труды МАИ. 2017. № 93. URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/73e/volkov_semenov_sidkhu_rus.pdf.
3. Сидху Д.С.С. Критические режимы сверхзвукового обтекания ромбического рельефа // Гагаринские чтения - 2016. Тезисы докладов. 12-15 апреля, Москва. С. 701.
4. Сидху Д.С.С., Волков В.А., Семенов В.В. Волновое сопротивление рельефных поверхностей каналов сложных форм // XX Юбилейная

Международная конференция по Вычислительная механика и современные прикладные программные системы – 2017. Тезисы докладов. 24-31 мая 2017, Алушта, Крым. С. 544.

5. Сидху Д.С.С., Волков В.А., Семенов В.В. Волновое сопротивление при сверхзвуковом обтекании ромбических рельефов // Авиация и космонавтика - 2017. Тезисы докладов. 20-24 ноября, Москва. С. 124.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные):

Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора физ.-мат. наук Мартыненко С.И. содержит следующие замечания:

1. Глава 4 диссертации, посвящённая математическому моделированию гидродинамических процессов, практически не связана с главами 1, 2 и 3, где та же проблема решается аналитическими методами.

2. Глава 4. Точность полученных численных результатов нигде не анализируется, поэтому представление расчётных значений силы волнового сопротивления в таблице 4.4 и 4.6 с пятью–семью значащими цифрами выглядит необоснованным. Это касается и текста диссертации: например, на странице 106 (выводы по главе 4) сказано «При этом наибольшая сила волнового сопротивления приходится при углах ромба $6^\circ - 13,09944Н \dots$ ». Значение 13.1Н в данном контексте выглядит более реалистичным.

3. Глава 4. Расхождение между расчётными и экспериментальными данными, показанное на рис. 4.10 и 4.13 не получило должного объяснения. Необходимо проанализировать влияние различий в геометрии ромбических выступов, показанных на рис. 4.11 и 4.12. При сверхзвуковой скорости набегающего потока даже чуть притупленный носик ромба приведёт к заметному росту гидравлического сопротивления. Кроме того, из текста диссертации не ясны характеристики вычислительной сетки во внутренней части турбулентного пограничного слоя. Каковы безразмерные расстояния y^+ узлов сетки? Достигнута ли сходимость по сетке (слабая зависимость получаемых результатов от величины шага сетки)?

4. Страница 100. Некоторые расчётные данные приведены без должного анализа полученных результатов. В частности, величина силы волнового сопротивления увеличивается менее чем на 2% при изменении уровня интенсивности турбулентности потока от 3% до 100% (рис. 4.15 и таблица 4.5). Данный факт (т.е. фактически независимость сопротивления от интенсивности турбулентности) в тексте диссертации никак не комментируется.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, кандидата техн. наук Гапонова В.Д. содержит четыре замечания:

1. Не обозначен объект и предмет диссертационного исследования. В тексте диссертации недостаточно четко обосновано практическая актуальность темы.

2. Желательно было бы дать количественную оценку влияния волнового сопротивления сопел (насадков), имеющих ромбический рельеф, на величину коэффициента сопла φ_c .

3. В заключении не сформулированы рекомендации по использованию выводов и научных результатов.

4. Отсутствуют экспериментальные данные, полученные самим автором, по испытанию модельных сопел со стенками с ромбическим рельефом.

Отзыв на диссертацию ведущей организации Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН содержит замечания:

1. Недостаточно обоснован выбор модели турбулентности. SST модель турбулентности, используемая в работе, имеет ряд существенных недостатков, которые могли оказать влияние на полученные результаты:

- неправильная зависимость решения от уровня турбулентности набегающего потока,
- большие погрешности при расчете ряда базовых сжимаемых течений, например, течение при взаимодействии ударной волны с пограничным слоем,
- плохо описывает переходные течения и ряд других;

2. Хорошо известно, что коммерческий пакет ANSYS CFX обладает невысокой точностью и получаемые с помощью него численные решения

сильно зависят от расчетной сетки. Для подтверждения достоверности качества приведенных в диссертации результатов желательно было бы провести анализ сходимости численных решений по сетке и дать оценку точности полученных результатов, полученных при помощи этого пакета.

Отзыв на автореферат диссертации Кочеткова Ю.М., доктора техн. наук, ст. научного сотрудника ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», содержит замечания:

1. Плоская аппроксимация пространственных ромбовидных структур является достаточно грубой и может завышать прогнозируемые результаты.

2. Автором выбрана единственная ромбовидная форма следов деформации сопла в процессе его разгара. При этом другие формы рельефа такие, как продольные следы от вихрей Тейлора-Гёртлера, ячеистые регулярные структуры в виде углублений на стенке сопла, автором не учитываются, что также может существенно повлиять на величину потерь удельного импульса тяги.

3. В диссертации отсутствуют экспериментальные данные по исследованию волнового сопротивления, проведенные лично автором.

Отзыв на автореферат диссертации Иванова И.Э., кандидата физ.-мат. наук, доцента МГУ им. М.В. Ломоносова содержит одно замечание:

1. Отсутствуют экспериментальные данные исследований волнового сопротивления рельефной поверхности соплового насадка, проведенных самим автором.

Отзыв на автореферат диссертации Попова И.В. кандидата физ.-мат. наук, доцента, ст. научного сотрудника Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат диссертации Кишалова А.Е. кандидата техн. наук, доцента кафедры Авиационной теплотехники и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» содержит замечания:

1. Недостаточная апробация результатов исследования – малое количество

публикаций, особенно в ВАК (2 статьи), излишний объём автореферата (23 стр.) с учётом 115 стр. объёма самой диссертации. Немного не правильное использование терминов – сленг, например, «не хватает стенки сопла» на стр. 3; «По ходу серии варьировали...» на стр. 15.; «5 жирных точек на рис. 3.1», на стр. 15 и т.п.

2. К недостаткам стиля изложения можно отнести то, что автор в автореферате периодически задает сам себе вопросы и сам на них отвечает. Например, «Поэтому формула (2.25) является исчерпывающе полным ответом на вопрос, заданный в начале главы 2» (стр. 12); «Вопрос: - характеристики какого семейства ... Ответ зависит от знака...» (стр. 15).

3. В автореферате присутствуют неточности и опечатки, например, опечатка на стр. 15: «... три из которых изображены на рис. 3.1...», д.б. рис. 3.2.

4. При выполнении вычислительных исследований при помощи CFD- продукта ANSYS CFX, для качественного и количественного решения подобных задач, размер элемента расчётной сетки должен быть сопоставим с толщиной скачка уплотнения, который имеет величину порядка длины свободного пробега молекулы в данных условиях. При этом расчётная сетка, приведённая на рис. 4.2. имеет большие размеры.

5. При описании результатов расчётов, проведённых в ANSYS CFX, автор описывает, что результаты делятся на несколько групп, но сами результаты и группы в автореферате приведены в довольно ограниченном объёме. Также отсутствует сравнение данных, рассчитанных при помощи ANSYS CFX и по методике, разработанной автором. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, приведённое на рис. 4.7. показывает погрешность моделирования до 50% (для угла в 14 градусов), хотя понимание рисунка затруднено - отсутствует обозначение экспериментальных и расчётных данных.

6. Рисунки в автореферате, иллюстрирующие течение газа вдоль пластины с ромбическим рельефом, чёрно-белые, а шкалы - цветные. Т.е. максимум и минимум при чёрно-белой распечатке выглядят одинаково, что препятствует их

правильному пониманию (рис. 4.3, таблица 4.1). На рис. 4.4. и 4.5 приведены некоторые результаты моделирования - силы волнового сопротивления, при этом разброс параметров в различных расчётах составляет порядка 1 Н. При величине измеряемого параметра в 13 Н погрешность расчёта составляет порядка 8%.

Отзыв на автореферат диссертации Панова В.А. кандидата техн. наук, заместителя технического директора АО «ММП имени В.В. Чернышева» содержит замечания:

1. В основных тезисах первой главы при проведении информационного обзора по изучаемому вопросу нет точного указания источника, в котором описываются механизмы возникновения рельефной поверхности.
2. При анализе основных тезисов третьей главы не указан непосредственный вклад автора диссертации в получении теоретических данных.
3. На основании, приведенных выводов по результатам диссертационной работы не прослеживается взаимосвязь экспериментальных данных и аналитических.

Отзыв на автореферат диссертации Мухина А.Н. кандидата техн. наук, главного конструктора ОКБ имени А. Люльки, филиал ПАО «ОДК-УМПО» и **Брыкина Б.В.** кандидата техн. наук, ведущего конструктора ОКБ имени А. Люльки, филиал ПАО «ОДК-УМПО» содержит замечания:

1. Наблюдаются расхождения между теоретическими и экспериментальными критическими значениями угла ромба, что возможно связано с допущениями, принятыми в эксперименте.
2. В автореферате не представлена зависимость влияния высоты рельефа на гидравлические потери, однако получение такой зависимости представляет безусловный интерес.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ГНПП Регион», подписанный главным конструктором направления, доктором техн. наук, профессором Гараниным Игорем Васильевичем, ведущим конструктором, кандидатом техн. наук, доцентом Алифановым Александром Владимировичем и утвержденным

заместителем генерального директора по НИОКР АО «ГНПП Регион» Бензороком Дмитрием Валерьевичем содержит замечания:

1. В тексте автореферата не раскрыто, как разработанный метод расчета сверхзвукового обтекания газовым потоком пластины - элемента сопла соотносится с математическим методом расчета сертифицированной программы ANSYS, предназначенной для решения прикладных задач газовой динамики.
2. В тексте автореферата не приведены оценки влияния полного коэффициента волнового сопротивления рельефа сопла на величину дополнительной потери тяги.
3. В автореферате практически отсутствуют ссылки на источники, как заимствованные, так и авторские.
4. В автореферате следовало бы дать краткую информацию о способе экспериментального получения численного значения силы дополнительного волнового сопротивления в аналитических расчетах и в эксперименте.

Отзыв на автореферат диссертации Мотодорского Владимира Яковлевича, доктора техн. наук, доцента, профессора кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Сидху Дж.С.С., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Мартыненко С.И., доктора физ.-мат. наук, научного сотрудника отдела «Специальные авиационные двигатели и химмотология» ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетентностью в вопросах численного решения уравнений Навье - Стокса при помощи универсальной многосеточной технологии, а также в теории и проектировании авиационных двигателей.

Выбор Гапонова В.Д. начальника сектора отдела 769 АО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко», кандидата техн. наук обосновывается его большим опытом работы в области расчетно-экспериментальных исследований ракетных двигателей и двигательных установок. Гапонов В.Д. много лет возглавляет сектор отдела 769 АО «НПО Энергомаш» - головного предприятия интегрированной структуры, объединившей ведущие российские предприятия ракетного двигателестроения, задачей которой является создание мощных ракетных двигателей на экологически чистом топливе.

Ведущая организация выбрана в соответствии с ее высоким уровнем достижений в области теории механики жидкости, газа и плазмы; многофазных сред; аэро-термодинамики летательных аппаратов. Специалисты лаборатории радиационной газовой динамики Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, в том числе составившие отзыв на диссертацию, обладают большим опытом создания новых расчетно-теоретических методов физической механики на основе численных моделей механики сплошных сред.

Оппоненты и специалисты ведущей организации имеют публикации в международных и отечественных рецензируемых изданиях по теме работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика оценочного расчета сил волнового сопротивления ромбических рельефов, образующихся на композитных стенках сопловых насадков, обтекаемых сверхзвуковым потоком продуктов сгорания, температура торможения которого больше предела термостойкости композита;

предложена аналитическая формула, описывающая в рамках линейной теории зависимость полных коэффициентов волнового сопротивления периодических плоских рельефов от их параметров подобия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что аналитическое решение линейной краевой задачи обтекания однородным потоком трехмерного рельефа, заданного суммой плоских синусоидальных волн, является суммой автомодельных частных решений, у

которых их сверхзвуковые ветви обязаны удовлетворять условию отсутствия возмущений в натекающем потоке;

установлено существование критических режимов сверхзвукового обтекания потоком газа нескольких углов ромба рельефной поверхности, при которых резко возрастают потери тяги двигателя;

показано, что при дозвуковом обтекании потоком газа стенок соплового насадка с ромбическим рельефом критические режимы обтекания углов ромба отсутствуют.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

создана методика расчета волнового сопротивления рельефных стенок насадка из композиционного материала, образованные при обтекании стенок сверхзвуковым потоком газа, что поможет оценить потери тяги в сопловых насадках ракетных двигателей, вызванные волновым сопротивлением.

установлено, что под теми углами ромба рельефной поверхности, где возникают критические режимы сверхзвукового обтекания потоком газа, из-за которых резко возрастают потери тяги двигателя, нельзя осуществлять намотку ниток каркаса соплового насадка;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

корректное использование современных математических методов и сертифицированной программы ANSYS для решения прикладных задач газовой динамики;

теория базируется на классической линейной теории плоских течений, которую математически строго обобщили на кусочно-гладкие контуры, удовлетворяющие всем ограничениям применимости линейной теории;

использована трехмерная краевая задача Блохинцева Д.И. для возмущений давления, решение которой найдено с помощью аналитического метода суперпозиции автомодельных частных решений;

уточнена методика, в которой результаты численного моделирования согласуются с известными теоретическими с экспериментальными данными

других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что

- в рамках линейной теории аналитическим путем решил задачу обтекания потоком трехмерного рельефа, заданного суммой плоских синусоидальных волн;
- выявил дефект волнового сопротивления пластины с шиферной поверхностью;
- показал, что нельзя осуществлять намотку ниток каркаса соплового насадка под углами ромба рельефной поверхности, где возникают критические режимы сверхзвукового обтекания потоком газа;
- провел трехмерное численное моделирование обтекания стенки соплового насадка с ромбическим рельефом, а также сравнение результатов расчета с экспериментальными данными других авторов.

На заседании 25 декабря 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Сидху Д.С.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 21, против 2, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета
доктор техн. наук, профессор

Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор техн. наук, профессор

Зуев Юрий Владимирович

25.12.2018 г.