

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29 февраля 2024 № 1

О присуждении **Ханхасаевой Яне Владиславовне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние вложения энергии в поток на трехмерное обтекание летательных аппаратов» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 26.12.2023 (протокол заседания №16/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Ханхасаева Яна Владиславовна**, 1990 года рождения, в 2012 г. окончила специалитет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности «Механика».

В 2015 г. окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению подготовки 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в отделе № 8 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Диссертация выполнена в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Научный руководитель – Луцкий Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела № 8 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Официальные оппоненты:

Калугин Владимир Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, декан факультета и руководитель НУК «Специальное машиностроение», заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»,

Бочаров Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом №21. – магнитоплазменной аэродинамики, лаборатория №21.1. – численного моделирования магнитоплазменной аэродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук»

дали **положительный** отзыв на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук** в своем **положительном** отзыве, подписанном **Суржиковым Сергеем Тимофеевичем**, доктором физико-математических

наук, профессором, академиком РАН, главным научным сотрудником ИПМех РАН, и **Панасенко Александром Викторовичем**, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником ИПМех РАН, и утвержденным **Якушем Сергеем Евгеньевичем**, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, и.о. директора ИПМех РАН, **указала**, что работа выполнена на высоком научном уровне и содержит результаты численного исследования возможностей и эффективности вложения энергии в различные области потока, образующегося при сверхзвуковом обтекании летательных аппаратом различной формы, как средства управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов. Теоретическая значимость работы состоит в исследовании различных явлений существенной перестройки течения в результате относительно малых возмущений набегающего потока при рациональном расположении источников энергии при проектировании ЛА различных компоновок. Практическая значимость работы состоит в том, что она может быть использована при проектировании сверхзвуковых летательных аппаратов в ведущих организациях России. Диссертация Ханхасаевой Яны Владиславовны является законченным научным исследованием. Содержание и результаты работы соответствует паспорту научной специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Я.В. Ханхасаева, заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 публикаций в изданиях, входящих в перечень ВАК, 7 – в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Наиболее значимые публикации представлены ниже:

1. Балашов В.А., Борисов В.Е., Ханхасаева Я.В. Неявная схема для уравнений URANS с моделью турбулентности SST на основе метода LU-SGS //

- Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2018. — № 31. — С. 1–20. (**ВАК**)
2. Кудряшов И.Ю., Луцкий А.Е., Ханхасаева Я.В. Численное исследование влияния вложения энергии в поток на течение в донной области // Матем. моделирование. — 2015. — Т. 27, №9. — С. 33–48. (**Scopus, ВАК**)
 3. Луцкий А.Е., Меньшов И.С., Ханхасаева Я.В. Влияние неоднородности набегающего потока на сверхзвуковое обтекание затупленного тела // Матем. моделирование. — 2016. — Т.28, №7. — С. 45–55. (**Scopus, ВАК**)
 4. Khankhasaeva Y.V., Borisov V.E., Lutsky A.E. Influence of energy input on the flow past hypersonic aircraft x-43 // J. Phys.: Conf. Ser. — 2017. — Vol. 815. — 012018. (**WoS, Scopus**)
 5. Ханхасаева Я. В. Влияние вложения энергии на аэродинамические характеристики и тепловые потоки при трёхмерном обтекании модели летательного аппарата сложной формы // Матем. моделирование. — 2023. — Т. 35, №2. — С. 105–125. (**Scopus, ВАК**)
 6. Луцкий А. Е., Ханхасаева Я. В.. Трёхмерная задача обтекания модели летательного аппарата при активном воздействии на поток // Математические заметки СВФУ. — 2015. — Т. 22, № 2. — С.83–91.

В работе [1] автором описывается используемая математическая модель. В работе [2] автором изложены результаты численного исследования влияния вложения энергии в различные области потока на течение в донной области модели. В работе [3] автором исследуется след за источником энергии в сверхзвуковом потоке. В работах [5,6] автором численно изучено влияние расположения и других параметров источника энергии при сверхзвуковом обтекании летательного аппарата сложной формы, оснащенного крыльями. В работе [4] автором численно исследуется влияние вложения энергии на обтекание летательного аппарата сложной формы, оснащенного прямоточным воздушно-реактивным двигателем.

Научные статьи отражают основные результаты диссертационной работы. Сведения об опубликованных соискателем работах достоверны.

На диссертацию поступили отзывы ведущей организации и оппонентов, один отзыв на автореферат. Все отзывы положительные. В отзывах содержится ряд замечаний:

В отзыве ведущей организации ИПМех РАН:

1. При проведении расчетов валидационных задач в главе 1 (ЛА НВ-2 и Х-43А) не указаны размеры расчетных сеток и нет ясности по проработки структуры возникающих течений, включая проработку пограничного слоя.
2. При проведении расчетов исследования влияния вложения энергии в поток на течение в донной области в главе 3 речь идет о примыкающем к телу пограничном слое, срыве потока с задней кромки тела, образовании вязкого слоя смешения. При этом важное значение имеет степень проработки структурных областей течения. В диссертации об этом ничего не говорится, что является замечанием к выполненной работе, поскольку плохая проработка указанных областей может привести к неправильной трактовке полученных решений.
3. Изложение результатов расчетов по аппарату Х-43А в главе 5 проведено без изложения структуры расчетных сеток и без привязки к конструкции двигательной установки, о которой идет речь в тексте. Фактически речь идет о воздухозаборнике, а не о двигательной установке.

В отзыве официального оппонента, д.т.н. Калугина В.Т.:

1. В диссертации проведено большое количество расчетов, однако не представлены (глава 2) структуры течения за источником вложения энергии, а дано только изменение параметров потока (давления, числа М и т.д.) вдоль линии симметрии.
2. При исследовании процесса вложения энергии перед осесимметричным ЛА и на его поверхности (глава 3) в диссертации не рассмотрено влияние удлинения ЛА, а также отсутствует физическое объяснение причин изменения донного давления при энергообмене.

3. Модель летательного аппарата, рассмотренная в главе 4, по своей форме (затупленная носовая часть и передние кромки крыльев), скорее соответствует дозвуковым режимам полета. Между тем, основные результаты получены для сверхзвукового режима $M=2.5$. Данное замечание не является принципиальным. По-видимому, модель выбиралась так, чтобы эффекты вложения энергии проявились наиболее отчетливо. Можно рекомендовать автору в дальнейших исследованиях рассмотреть более реалистичные модели сверхзвуковых летательных аппаратов. До некоторой степени это уже сделано в главе 5.
4. Как отмечает и сам автор, исследование тепловых потоков на поверхности чрезвычайно важно при проектировании летательных аппаратов. К сожалению, это вопрос исследуется только для одного значения заданной температуры поверхности $T_w=1.125$ (немного выше статической температуры набегающего потока). Было бы интересно рассмотреть и другие варианты.
5. Некоторые замечания по оформлению диссертации:
 - отсутствуют выводы по главе 1 (по другим главам они имеются);
 - используются не принятые в РФ обозначения аэродинамических коэффициентов.

В отзыве официального оппонента, д.ф- м.н. Бочарова А.Н.:

1. В работе заявлена разработка математической и численной модели течения с энерговкладом. Обязательным элементом модели является постановка граничных (и, как правило, начальных условий). По-видимому, автором допущено досадное недоразумение: нигде в тексте не обсуждается постановка начальных и граничных условий.
2. Коль скоро в работе идет речь о турбулентных течениях, было бы логично привести какие-либо характеристики турбулентности, например оценки интенсивности турбулентности хотя бы на входных границах. Вообще было бы интересно сравнить основные аэродинамические

характеристики рассмотренных в работе задачах с учетом и без учета турбулентности.

3. В данной работе используется самая простая модель источника: равномерная по времени и пространству плотность тепловыделения. В реальности горения разряда чаще всего имеет более сложный характер. Хотелось бы увидеть в работе соображения по поводу других вариантов источника.
4. В разработке математической и численной модели указано, что в работе используются интерполяционные схемы типа TVD и WENO. Если TVD упомянута в главе 1, то по поводу WENO схемы не сказано ни слова.

Отзыв на автореферат от **Яцухно Дмитрия Сергеевича**, к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории радиационной газовой динамики ИПМех им А.Ю. Ишлинского РАН содержит следующие замечания:

1. Из представленных в автореферате расчетных данных трудно сделать вывод о количественном уровне мощности энергоисточника. Выбиралась ли данная мощность в рамках модельной аэродинамической задачи или с учетом возможного теплового влияния энергоисточника на поверхность исследуемых моделей?
2. Описание используемой в расчетах численной модели включает в себя информацию об использованной модели турбулентности. Выполнялись ли расчеты также и при ламинарном режиме течения?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и высоким уровнем компетентности по всем основным вопросам, рассмотренным в диссертации, включая численное изучение вопросов аэротермодинамики, разработку и анализ новых вычислительных алгоритмов, реализации их в виде программных комплексов, применение методов и средств математического моделирования для решения сложных научно-практических задач, что подтверждается списком публикаций официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **Получены** результаты параметрических исследований свойств теплового следа за источником энергии в сверхзвуковом потоке в зависимости от формы и размеров источника, мощности вложения энергии и числа Маха набегающего потока.
2. **Получены** результаты численных исследований влияния вложения энергии перед носовой частью модели на течение в донной области и донное давление.
3. **Выявлены** рациональные варианты расположения, размеров и мощности источников энергии, обеспечивающие снижение сопротивления и повышение аэродинамического качества при трехмерном обтекании ЛА сложной формы.
4. **Получены** результаты численных исследований влияния вложения энергии при обтекании модели ВЛА, которые обеспечивают повышение аэродинамических характеристик, увеличение расхода и полного давления в воздухозаборнике прямоточного двигателя.

Теоретическая значимость исследования состоит в исследовании различных явлений существенной перестройки течения в результате относительно малых возмущений набегающего потока.

Практическое значение результатов исследования заключается в полученных рекомендациях о рациональном расположении источников энергии при проектировании ЛА различных компоновок.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием хорошо обоснованных в мировой практике подходов к построению численных алгоритмов, результатами компьютерного моделирования ряда задач, для которых проведено сопоставление полученных решений с экспериментальными и независимыми расчетными данными.

Личный вклад соискателя. Автором самостоятельно подобраны параметры и условия численных экспериментов (выбор и геометрические характеристики обтекаемых моделей, параметры набегающего потока и источников энергии), проведены расчеты (тепловой след в сверхзвуковом потоке, сверхзвуковое обтекание различных моделей при наличии источников энергии) и анализ полученных результатов. Из совместных публикаций в диссертацию включен лишь тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

В ходе защиты диссертации вопросы соискателю задали: Б.Н. Четверушкин (председатель совета), А.В. Колесниченко (чл. совета), В.В. Веденяпин (д.ф.-м.н., профессор, в.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), В.С. Смолин (н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН). Существенных замечаний по работе не было. Я.В. Ханхасаева ответила на заданные вопросы, согласилась с замечаниями, указанными в письменных отзывах, и дала аргументированные пояснения в необходимых случаях.

Во время дискуссии в поддержку диссертационной работы выступили: Б.Н. Четверушкин, В.В. Веденяпин, А.Н. Козлов (чл. совета).

На заседании 29 февраля 2024 года диссертационный совет принял решение: за численное исследование возможностей и эффективности вложения энергии в различные области потока, образующегося при сверхзвуковом обтекании летательных аппаратом различной формы, как средства управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов, вносящее существенный вклад в развитие механики жидкости, газа и плазмы, присудить Ханхасаевой Яне Владиславовне ученую степень кандидата-физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек,

входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета 24.1.237.01

Четверушкин Борис Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.237.01



Корнилина Марина Андреевна

29.02.2024 г.