

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ ИУ РАН) ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23 апреля 2026 г. № 3

О присуждении Кравченко Олегу Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Управление высокоскоростным обтеканием аэродинамических тел с помощью стратифицированных источников энергии» по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 20 февраля 2026 г (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.224.02, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), находящегося по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ о создании диссертационного совета № 1337/нк от 24.10.2022.

Соискатель – Кравченко Олег Викторович, дата рождения 31 марта 1989 года, в 2011 году окончил факультет фундаментальных наук Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана) по специальности «Прикладная математика», получил квалификацию инженера-математика. С 20.10.2011 года по 19.10.2014 года обучался в аспирантуре МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», где сдал экзамены кандидатского минимума – иностранный язык

(английский), история и философия науки (физико-математические), математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, что подтверждается справкой от 08.12.2025 г. В 2026 году Кравченко О.В. сдал кандидатский экзамен по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы», что подтверждается справкой от 12.01.2026 г.

Кравченко О.В. работает научным сотрудником отдела 25 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН).

Диссертация выполнена в отделе 25 ФИЦ ИУ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Азарова Ольга Алексеевна. Основное место работы – ФИЦ ИУ РАН, отдел 25, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

- 1) Бабаков Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации проектирования Российской академии наук (ИАП РАН), заведующий отделом информатизации, математического моделирования и управления;
- 2) Меньшов Игорь Станиславович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), отдел прикладных задач механики сплошных сред, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН), город Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Гимон Татьяной Александровной, к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником

лаборатории № 5 «Аэрогазодинамики больших скоростей» ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, и Ядренкиным Михаилом Андреевичем, к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником лаборатории № 4 «Физики быстропротекающих процессов» ИТПМ СО РАН, и утвержденном и.о. директора ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН Краусом Евгением Ивановичем, д.ф.-м.н., указала, что диссертация Кравченко О.В. представляет собой законченную самостоятельную научную квалификационную работу, в которой содержится решение задач, имеющих большое значение для развития механики жидкости, газа и плазмы. Ведущая организация отметила, что тема диссертации является актуальной и перспективной. Теоретическая значимость работы состоит в развитии представлений о физических механизмах взаимодействия термически неоднородных структур с ударными волнами, а практическая – в усовершенствовании программного комплекса «FlowView», пригодного для расчетов в режимах высокоскоростного обтекания.

В отзыве ведущей организации отмечается, что специального упоминания заслуживают следующие результаты, полученные в диссертации.

1. Получены результаты моделирования известных экспериментов по воздействию стратифицированного источника энергии на плоскую ударную волну. Для чисел Маха ударной волны $M_{уВ} = 2 \div 5$ получены режимы взаимодействия, характеризующиеся искривлением фронта ударной волны, а также режимы с полным размытием ее фронта. Для чисел Маха ударной волны $M_{уВ} = 6 \div 12$ показано, что под воздействием термически стратифицированных источников энергии (ТСИЭ) происходит перераспределение энергии с образованием горячих областей, значения потенциальной и кинетической энергии в которых превышают в несколько раз соответствующие значения для однородного источника. Проведены параметрические исследования для высоких скоростей ударной волны.

2. Разработан метод цифровой визуализации границ ТСИЭ с использованием экспериментальных шпирен-изображений потока, позволивший про-

вести моделирование с использованием границ ТСИЭ, соответствующих эксперименту, а также получить парные грибовидные структуры, связанные общим вихрем.

3. Для набегающего потока при числах Маха $M_\infty = 1.5$; 2 разработаны принципы управления головной ударной волной и аэродинамическими характеристиками тела с помощью ТСИЭ за счет изменения температуры в его слоях. Для рассмотренных конфигураций потока установлено, что использование ТСИЭ для управления потоком не сопровождается увеличением уровня шума на поверхности земли.

4. Выполнено усовершенствование программного комплекса «FlowView» для численного моделирования движения вязкого теплопроводного совершенного газа на основе системы уравнений Навье–Стокса за счет введения программных модулей на основе ограничителей потоков, обеспечивающих стабильность расчетов при числах Маха ударной волны $M_{УВ} \geq 6$, а также модуля для автоматизации задания параметров ТСИЭ.

В качестве замечания ведущая организация указывает, в частности, на преимущественно описательный характер литературного обзора главы 1 без четкого аналитического заключения о пробелах в мировой практике; на то, что значительный объем главы 2, посвященный взаимодействию плоской ударной волны с ТСИЭ в ударной трубе, выходит за рамки основной цели работы, ограниченной исследованием влияния ТСИЭ на поток перед головной ударной волной; на целесообразность точнее сформулировать элемент новизны диссертации; на необходимость более подробного описания точности разработанного метода цифровой визуализации границ ТСИЭ и его чувствительности к ошибкам; на отсутствие объяснения выбора числа Рейнольдса $Re \approx 9500$ в расчетах главы 4; на желательность рассмотрения задачи в случае, когда происходит обтекание источника энергии; на желательность расчета безразмерных параметров (чисел Струхалья, Ричардсона и др.) при формулировании принципов управления; на отсутствие анализа баланса между полученным эффектом и вложенной энергией в разделе

об энергетической эффективности; на необходимость корректного использования термина «неустойчивость Рихтмайера – Мешкова» применительно к наблюдаемым сдвиговым вихревым структурам; на несоответствие отдельных библиографических описаний требованиям ГОСТ, а также на отдельные опечатки и стилистические погрешности. В отзыве отмечено, что указанные замечания носят рекомендательный характер, не снижают общей высокой оценки работы и не влияют на итоговое заключение по диссертации. Отмечено, что диссертация Кравченко О.В. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук

Диссертация была обсуждена на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» под руководством академика РАН В.М. Фомина (протокол № 1 от 13.02.2026). Отзыв на диссертацию был обсужден на заседании лаборатории № 5 «Аэрогазодинамики больших скоростей» ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН (протокол № 1 от 26.03.2026). Отзыв утвержден 30 марта 2026 г. и.о. директора ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, д.ф.-м.н. Е.И. Краусом.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, включенных в список ВАК и/или входящих в международные базы цитирования (Scopus и/или Web of Science), из них 4 работы опубликованы в журналах, входящих в первый или второй квартили международных баз цитирования Scopus и/или Web of Science. Наиболее значимые работы:

1. Azarova O.A., Kravchenko O.V. The Use of Spatially Multi-Component Plasma Structures and Combined Energy Deposition for High-Speed Flow Control: A Selective Review // *Energies*. 2024. Vol. 17. No. 7. P. 1632. DOI: 10.3390/en17071632 (Q1).
2. Kravchenko O.V., Azarova O.A., Knight D.D. Impact of a thermally stratified energy source located in front of a pointed cylinder aerodynamic model on the

- pressure signatures and PLdB effect on the ground // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 13. P. 7927. DOI: 10.3390/app13137927
3. Azarova O.A., Kravchenko O.V. Principles of unsteady high-speed flow control using a time-limited thermally stratified energy source // *Fluids*. 2022. Vol. 7. No. 10. P. 326. DOI: 10.3390/fluids7100326 (Q2).
 4. Azarova O.A., Lapushkina T.A., Krasnobaev K.V., Kravchenko O.V. Redistribution of energy during interaction of a shock wave with a temperature layered plasma region at hypersonic speeds // *Aerospace*. 2021. Vol. 8. No. 11. P. 326. DOI: 10.3390/aerospace8110326 (Q2).
 5. Lapushkina T.A., Erofeev A.V., Azarova O.A., Kravchenko O.V. Interaction of a plane shock wave with an area of ionization instability of discharge plasma in air // *Aerospace Science and Technology*. 2019. Vol. 85. P. 347–358. DOI: 10.1016/j.ast.2019.05.012 (Q1).
 6. Azarova O.A., Krasnobaev K.V., Lapushkina T.A., Kravchenko O.V. Energy transformations accompanying a shock wave distortion and disappearance during the interaction with thermally stratified plasma // *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. Vol. 2548. No. 1. P. 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/2548/1/012004.
 7. Azarova O.A., Kravchenko O.V. Impact of a thermally stratified energy source on the bow shock wave and aerodynamic characteristics of a body // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1891. No. 1. P. 012025. DOI: 10.1088/1742-6596/1891/1/012025.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На автореферат диссертации поступило 2 положительных отзыва:

1. от Кузнецова Виктора Иосифовича, д.ф.-м.н., заместителя директора отделения ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Лапушкиной Татьяны Алексеевны, к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН;

2. от Краснобаева Константина Васильевича, д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

В отзывах на автореферат отмечается, что диссертация Кравченко О.В. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Описанное в автореферате научное исследование выполнено на достаточно высоком научном уровне. Отмечается, что для получения результатов использован комплекс современных численных методов механики сплошной среды: комплексно-консервативные разностные схемы, введение ограничителей потоков для устойчивости расчетов при числах Маха ударной волны $M_{ув} \geq 6$, контроль результатов с помощью сеточной сходимости, сопоставление с экспериментальными данными и расчетами других авторов. Полученные в работе результаты открывают возможности дальнейшего развития методов активного управления высокоскоростными потоками посредством локального стратифицированного энерговклада, в том числе в задачах снижения уровня звукового удара (Sonic Boom). Отзывы на автореферат не содержат замечаний.

Выбор ведущей организации обосновывается ведущим положением ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН в области экспериментальных и теоретических исследований высокоскоростной аэрогазодинамики, взаимодействия ударных волн со структурированными плазменными и тепловыми неоднородностями, а также наличием научных школ в области численного моделирования вязких газодинамических течений. Выбор официальных оппонентов обосновывается их научными достижениями и компетентностью в области вычислительной газодинамики, численного моделирования высокоскоростных течений и взаимодействия ударных волн с неоднородными средами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- получены новые результаты моделирования известных экспериментов по воздействию стратифицированного источника энергии на плоскую ударную волну; для чисел Маха ударной волны $M_{ув} = 2 \div 5$ найдены режимы взаимодействия, характеризующиеся искривлением фронта ударной волны, а также режимы с полным размытием ее фронта; для чисел Маха ударной волны $M_{ув} = 6 \div 12$ показано, что под воздействием ТСИЭ происходит перераспределение энергии с образованием горячих областей, значения потенциальной и кинетической энергии в которых превышают в несколько раз соответствующие значения для однородного источника;
- разработан метод цифровой визуализации границ ТСИЭ на основе экспериментальных шлирен-изображений потока, позволивший проводить моделирование с использованием реальных, соответствующих эксперименту границ ТСИЭ, а также получить парные грибовидные структуры, связанные общим вихрем;
- сформулированы принципы управления головной ударной волной и аэродинамическими характеристиками тела (фронтальным сопротивлением и подъемными или опрокидывающими силами) за счет изменения температурного профиля в слоях ТСИЭ при числах Маха набегающего потока $M_\infty = 1.5; 2$; впервые даны оценки влияния использования ТСИЭ на воспринимаемую громкость (в децибелах) на поверхности земли на основе параметрического волнового метода Томаса и алгоритма Стивенса Mark VII; показано, что для рассмотренных конфигураций потока использование ТСИЭ для управления потоком не сопровождается увеличением звукового воздействия на поверхность земли;
- выполнена модификация программного комплекса «FlowView» для численного моделирования движения вязкого теплопроводного совершенного газа на основе системы уравнений Навье–Стокса: включены программные модули на основе ограничителей потоков, обеспечивающие стабильность расчетов при

числах Маха ударной волны $M_{ув} \geq 6$, а также модуль автоматизации задания параметров ТСИЭ.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что полученные в диссертации результаты вносят вклад в развитие методов активного управления высокоскоростными газодинамическими потоками посредством локального стратифицированного энергетического воздействия. Установленные принципы управления головной ударной волной и аэродинамическими характеристиками тела за счет локального воздействия ТСИЭ могут найти применение при разработке систем активного управления высокоскоростным потоком/полетом. Результаты исследования температурных режимов в горячих областях, образующихся за фронтом ударной волны, позволяют уточнить прогноз термомеханических воздействий на конструкции высокоскоростных моделей, повышая их надежность. Полученные оценки влияния ТСИЭ на воспринимаемую громкость на поверхности земли могут быть использованы при разработке перспективных систем управления для высокоскоростной гражданской авиации.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием апробированных численных методов механики сплошной среды, основанных на фундаментальных физических законах; проверкой сеточной сходимости решений для всех рассмотренных задач путем сравнения результатов на нескольких сетках с различной дискретизацией; тестированием моделей на задачах с известными точными решениями; сопоставлением полученных результатов с экспериментальными данными и расчетами других авторов, во всех случаях показавшим согласованность.

В работе представлены подробные описания используемых математических моделей, численных методов и алгоритмов, приведены результаты верификационных расчетов и сопоставлений с экспериментом. Математическая модель построена в рамках системы уравнений Навье–Стокса для вязкого теплопроводного совершенного газа и дополнена моделью термически стратифи-

цированного источника энергии; численная реализация основана на комплексно-консервативных разностных схемах с использованием, по необходимости, предложенных ограничителей потоков. Положения и выводы диссертационной работы находятся в соответствии с современными представлениями механики жидкости, газа и плазмы, вычислительной аэрогазодинамики, физики ударных волн и физики неоднородных плазменных структур.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, является определяющим: все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично при научном руководстве доктора физико-математических наук О.А. Азаровой. Соискателем самостоятельно

- проведены расчеты по получению режимов с искривлением и размыванием фронта ударной волны при взаимодействии ТСИЭ с ударной волной;
- выполнены параметрические расчеты перераспределения энергии за фронтом ударной волны под воздействием ТСИЭ;
- исследовано воздействие ТСИЭ на высокоскоростное обтекание заостренного тела;
- сформулированы принципы управления потоком за счет изменения температуры в слоях ТСИЭ;
- разработан метод цифровой визуализации границ ТСИЭ на основе шпиренизобразований;
- выполнены расчеты прохождения сигнала через атмосферу по методу Томаса и оценки уровня воспринимаемой громкости на поверхности земли по алгоритму Стивенса Mark VII;
- проведены визуализация и анализ полученных результатов.

В ответах на отзывы ведущей организации и официальных оппонентов соискатель О.В. Кравченко согласился с замечаниями и дал содержательные комментарии.

В ходе защиты диссертации соискателю были заданы вопросы, уточняющие ряд используемых обозначений, ход исследования и главные результаты диссертации. Заданы уточняющие вопросы об учете турбулентности в модели;

оценивании чисел Рейнольдса; влиянии эффектов ионизации, диссоциации; исследовании звукового удара; количественных оценках зависимости соотношений между температурой и силой сопротивления от числа Стэнтона; оценках величины параметра, определяющего области ограничения потоков; характеристиках применявшихся вычислительных системы. Кроме этого, были высказаны замечания, касающиеся механизма понижения температуры лобовой поверхности аэродинамического тела в набегающем потоке; интерпретации условия, соответствующего отсутствию конвективных потоков; целесообразности верификации численного метода для обтекания сферы с включением энерговыделений в набегающий поток.

Соискатель Кравченко О.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, уточнив, что из физических соображений число Рейнольдса выбиралось порядка 9500, что соответствует не турбулентному режиму течения, и, что отсутствие дополнительного исследования турбулентности связано с методической особенностью исследования задачи: идеи решения задачи обтекания частично перенесены из задачи о влиянии источника на набегающую ударную волну. Кравченко О.В. указал, что в предложенной им модели заложен учет влияния плазменных эффектов: рассматриваемый параметр γ , равный 1.2, соответствует степени ионизации порядка $\approx 15 \cdot 10^{-5}$ и степени неравновестности $\approx 15 \cdot 10^{-3}$. Соискатель отметил, что в задаче звукового удара исследуемая величина – это уровень шума в децибелах, а также уточнил, что задачи выполнения параметрического исследования, нацеленного на получение количественных оценок зависимости соотношений между температурой и силой сопротивления от числа Стэнтона, в диссертации не ставилось.

На заседании 23.04.2026 г диссертационный совет принял решение за успешно выполненное решение научных задач, имеющих важное значение для развития методов исследования воздействия термически стратифицированных источников энергии на высокоскоростные газодинамические потоки и аэродинамические характеристики летательных аппаратов, присудить Кравченко

Олегу Викторовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета 24.1.224.02,

академик РАН



С.И. Безродных

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.224.02,

к.ф.-м.н.

В.И. Никонов

23 апреля 2026 г.