

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.12.2025 № 15/2025

О присуждении Боброву Максиму Сергеевичу, гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Развитие термогравитационной конвекции в горизонтальном слое газа при наличии линейно-протяженной температурной неоднородности на подстилающей поверхности» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 24.10.2025, протокол № 12-2/2025, диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Бобров Максим Сергеевич, 12.08.1996 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению 03.04.02 – Физика, в 2024 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация выполнена в лаборатории физических основ энергетических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Хребтов Михаил Юрьевич, кандидат физико-математических наук, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории суперкомпьютерных вычислений и искусственного интеллекта в энергетических технологиях.

Официальные оппоненты:

Пененко Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук (05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), ФГБУН

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по науке;

Сухановский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук (01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы), ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), заведующий лабораторией турбулентности «Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиала ПФИЦ УрО РАН

- дали положительные отзывы на диссертацию Боброва Максима Сергеевича.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ), г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном Черных Геннадием Георгиевичем, доктором физико-математических наук (01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы), профессором, главным научным сотрудником ФИЦ ИВТ указало, что «Результаты, изложенные в диссертации, способствуют более глубокому пониманию механизмов нелинейного взаимодействия вертикального и горизонтального тепловых потоков в термогравитационной конвекции... Результаты диссертации могут быть использованы при исследовании гидродинамики широкого класса конвективных течений в ИТ им. С.С. Кутателадзе СО РАН, ИВМ им. Г.И. Марчука РАН, ИФА им. А.М. Обухова РАН, ИПФ им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, ИГИЛ СО РАН, ИОИО им. П.П. Ширшова РАН, ИВМ и МГ СО РАН, ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН, ФИЦ ИВТ, ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Пермском госуниверситете и других научных организациях».

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 7 журнальных работ, общим объемом 80 страниц. В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Боброва М.С.:

1. Бобров М.С., Хребтов М.Ю. Исследование низкочастотных колебаний в условиях неоднородной тепловой конвекции. // Теплофизика и аэромеханика. – 2025. – Т. 32. – №. 4. – С. 617-634.
2. Hrebtov M., Bobrov M. Modification of k- ϵ Model for Sensible Heat and Momentum Flux Reconstruction from Surface Temperature Data // Atmosphere. – 2022. – Т. 13. – №. 7. – С. 1146.

3. Hrebtov M. Y., Bobrov M. S., Zhakebaev D. B., Karzhaubaev K. K. Numerical study of the interaction of vortex ring and background turbulence // Thermophysics and Aeromechanics. – 2019. – Т. 26. – №. 6. – С. 821-836.

4. Bobrov M., Hrebtov M., Ivashchenko V., Mullyadzhano R., Seredkin A., Tokarev M., Markovich D. Pressure evaluation from Lagrangian particle tracking data using a grid-free least-squares method // Measurement Science and Technology. – 2021. – Т. 32. – №. 8, 084014.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что работа выполнена на высоком научном уровне, её результаты актуальны и в достаточной мере апробированы.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. **Ингеля Л.Х.**, доцента, ведущего научного сотрудника Института экспериментальной метеорологии ФГБУ «Научно-производственное объединение "Тайфун"» «содержатся лишь отдельные редакционные замечания, относящиеся, прежде всего, к списку публикаций». Отмечено, что «Автором решен весьма широкий круг задач, что привело к получению ряда новых результатов, достаточно важных не только для теории, но и для практических приложений. К качественно новым результатам привели, например, исследование влияния течения реки на конвекцию в атмосферном пограничном слое и влияния изгибов реки на циркуляционные течения в нижней атмосфере».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. **Минакова А. В.**, профессора кафедры теплофизики, директора Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» содержится три замечания: «1. Вторая глава посвящена прямому численному моделированию эффекта влияния линейно-симметричной температурной неоднородности на нижней стенке, добавленной в течение Релея-Бенара, на образование крупномасштабных вихревых структур и формирование низкочастотных колебаний потока. При этом в автореферате отсутствует информация о характерных масштабах турбулентности и ее диссипации и сопоставление этих масштабов с размером ячеек расчетной сетки. 2. В третьей главе автореферата есть только словесное описание упоминание предлагаемой модификации $k-\varepsilon$ модели турбулентности, отсутствуют соответствующие формулы. Так же, как и во второй главе ничего не сказано о методе расчета, используемых схемах аппроксимации и пр. 3. В тексте автореферата часто используется упоминание RANS модели турбулентности, хотя автор решает нестационарные задачи и правильно стоило бы называть URANS модели. Из автореферата неясно, как обосновывается интервал усреднения по времени для URANS модели».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. **Яковенко С. Н.**, доцента, ведущего научного сотрудника ФГБУН Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, содержится четыре замечания: «1. На стр. 8 говорится, что достоверность результатов подтверждена

использованием кода MicroHH 1.0, «созданного для расчетов атмосферных и идеализированных течений методами DNS и LES». Неясно, где в работе применялся этот код, и как метод DNS может применяться для атмосферных течений, где невозможно разрешать явно все масштабы. 2. По главе 2, судя по рис. 2.2 можно ожидать, что боковые граничные условия могут оказывать влияние на результаты расчетов, проверялось ли это? 3. По главе 3. Размер расчетной области по горизонтали явно недостаточен для режимов с большой высотой канала ($H=220$ м, рис 3.3.), в ней уместается всего один период осцилляций. 4. Есть погрешности на графиках: (а) на рис. 2.3 должно быть Ly/λ вместо Lx/λ (поскольку спектры вычислялись вдоль оси y); (б) на рис. 2.8 розовой линии соответствует $\Delta bx = 3$ (а не 0); (в) на рис. 3.1 не пояснено, чему отвечают модели 0, 1, 2».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с тематикой диссертационной работы. Ведущая организация является одним из признанных центров в сфере математического моделирования, вычислительной техники и современных информационно-вычислительных технологий, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы. Официальный оппонент д.ф.-м.н. Пененко А.В. является авторитетным специалистом в области математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде, а д.ф.-м.н. Сухановский А.Н. — известным специалистом в области конвективного теплообмена. Оппоненты имеют научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлены ключевые механизмы формирования и эволюции низкочастотных колебаний в конвективных течениях, возникающих под воздействием линейно-протяжённой поверхностной температурной неоднородности. Выявлено влияние такой неоднородности на средние характеристики потока и вторичные вихревые структуры, определён диапазон соотношений между горизонтальным и вертикальным градиентами температуры, при которых проявляется эффект низкочастотных колебаний, а также получена асимптотическая оценка периода этих колебаний при росте числа Рэлея. Установлена зависимость характеристик низкочастотных колебаний положения восходящего потока от высоты слоя воздуха в широком диапазоне чисел Рэлея. Предложена и протестирована модификация классической $k-\epsilon$ модели турбулентности, учитывающая влияние плотностной стратификации через локальное число Ричардсона и обеспечивающая более точное восстановление потоков тепла с подстилающей поверхности и потоков импульса в пограничных слоях по сравнению со стандартной моделью, что подтверждено сравнением с данными атмосферных наблюдений. Численные

исследования влияния течения реки на ночную конвекцию при положительной разнице температур между рекой и почвой выявили ускоренное прорастание слоя инверсии над рекой и образование крупномасштабных вихревых структур. Дополнительно установлены механизмы формирования устойчивого струеобразного течения воздуха над рекой при наличии её изгиба, приводящего к интенсификации переноса тепла, влаги и примесей между берегами; показано, что последовательные изгибы вызывают появление устойчивых вертикальных вихрей, существенно влияющих на циркуляционные процессы.

Теоретическая значимость работы обусловлена тем, что полученные в рамках данной работы результаты существенно расширяют представления о структуре течения и процессах тепломассопереноса в режимах термогравитационной конвекции в условиях неоднородного нагрева. Выявлены ранее не описанные низкочастотные колебания положения восходящего потока, возникающие вследствие взаимодействия конвективных ячеек и валов над неравномерно нагретой поверхностью. Установлено, что данный эффект воспроизводится как в прямом численном моделировании при малых числах Рэлея, так и на масштабах атмосферного пограничного слоя в рамках RANS-моделирования, что подтверждает фундаментальный характер полученных результатов.

Практическая значимость полученных соискателем результатов подтверждается тем, что выявленные эффекты интенсификации циркуляционных течений и формирования когерентных вихревых структур над неравномерно нагретой поверхностью могут быть использованы при решении задач контроля и управления конвективными потоками в различных технологических системах. Кроме того, результаты исследований, связанных с усилением циркуляционных течений над линеаризованным участком реки, влиянием речного течения на ночной пограничный слой и воздействием изгибов русла на конвективные процессы, представляют ценность для разработки и уточнения моделей микроклимата отдельных регионов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных вычислительных подходов, тщательной отработкой методик проведения численного моделирования и верификацией используемых методов.

Личный вклад соискателя состоит в подготовке и проведении всех численных расчетов, а также в обработке, анализе и интерпретации полученных результатов. Постановка задач исследований проводилась соискателем как лично, так и совместно с научным руководителем к.ф.-м.н. Хребтовым М.Ю. Публикация статей и представление результатов на конференциях осуществлялись соискателем совместно с Хребтовым М.Ю.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Боброва Максима Сергеевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена задача численного исследования структуры термогравитационной

конвекции в горизонтальном слое газа при наличии линейно-протяженной температурной неоднородности на подстилающей поверхности. Полученные результаты имеют существенное значение для развития научных основ теории теплопереноса в турбулентных режимах термогравитационной конвекции, а также для совершенствования региональных моделей микроклимата. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

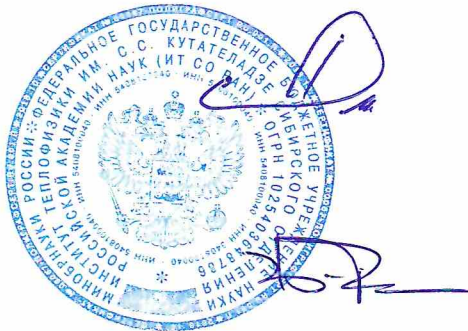
На заседании 24 декабря 2025 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Боброву Максиму Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по профилю специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 20, против – 1, недействительных бюллетеней – 0.

24.12.2025

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН



С.В. Алексеенко

В.В. Терехов