

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 05.12.2019 №45

О присуждении Кондрашову Александру Николаевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика конвективного течения над локализованным источником тепла» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 18.09.2019, протокол № 38, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26.01.2018.

Соискатель Кондрашов Александр Николаевич 1987 года рождения, в 2009 г. окончил ГОУ ВПО "Пермский государственный университет" по специальности «Физика», специализация «Физическая гидродинамика». В 2012 г. окончил аспирантуру очной формы обучения ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры общей физики ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет". Диссертация выполнена на кафедре общей физики ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Смородин Борис Леонидович, профессор, профессор кафедры физики фазовых переходов ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет".

Официальные оппоненты:

1. Ингель Лев Ханаанович, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института экспериментальной метеорологии ФГБУ НПО "Тайфун", г. Обнинск;
2. Козлов Николай Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидродинамической устойчивости ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук" (филиал – "Институт механики сплошных сред УрО РАН"), г. Пермь,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный

университет им. М.В. Ломоносова" (МГУ), г. Москва, в своем положительном заключении, составленном Никитиным Николаем Васильевичем, д.ф.-м.н., заведующим лабораторией общей аэродинамики НИИ механики МГУ, и утвержденном проректором МГУ, д.ф.-м.н., профессором А.А. Федяниным, указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой в области экспериментального и теоретического исследований конвективных течений, возникающих в замкнутых полостях над локализованным источником тепла. Полученные результаты имеют как практическую ценность, так и фундаментальную значимость, а также высокую степень новизны и достоверности. Представленная диссертационная работа «Динамика конвективного течения над локализованным источником тепла» удовлетворяет критериям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кондрашов Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискателем опубликовано 27 научных работ, в том числе 6 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Kondrashov A.**, Burkova E. Stationary convective regimes in a thin vertical layer under the local heating from below // Int. J. of Heat and Mass Transfer. 2018. Vol. 118. P. 58-65.

В работе рассматривается стационарное конвективное течение в узком вертикальном слое жидкости при действии локализованного источника тепла. Показано существование симметричного и асимметричного ламинарных конвективных режимов, сменяющих друг друга, при преодолении порогового значения параметра Рэлея.

2. **Kondrashov A.**, Sboev I., Dunaev P. Heater shape effects on thermal plume formation // Int. J. of Thermal Sciences. 2017. Vol. 122. P. 85-91.

Представлены результаты численного моделирования начального этапа формирования конвективного течения вблизи локализованных нагревателей различной формы. Определено критическое число Рэлея, превышение которого приводит к формированию двойного плюма.

3. **Kondrashov A.**, Sboev I., Dunaev P. Evolution of convective plumes adjacent to localized heat sources of various shapes // Int. J. of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 103. P. 298-304.

Описаны результаты экспериментального исследования, направленного на изучение начального этапа формирования конвективного течения вблизи локализованных нагревателей различной формы. Показано существование, по крайней мере, двух способов формирования плюма.

4. **Kondrashov A.**, Sboev I., Rybkin K. Effect of boundary conditions on thermal plume growth // Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 52, №. 7. P. 1359-1368.

Обсуждаются влияние толщины рабочего слоя и тепловых условий на узких границах на скорость роста теплового плюма. Показано, что в узких слоях развитие течения происходит медленнее, чем в осесимметричном случае.

5. Бабушкин И.А., **Кондрашов А.Н.**, Рыбкин К.А., Сбоев И.О. Развитие теплового плюма в узком вертикальном слое // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2015. № 2 (34). С. 14-25.

Приводятся результаты экспериментов по изучению скорости развития теплового плюма в узком вертикальном слое жидкости. Обсуждается роль прогрева нагревателя.

6. Бабушкин И.А., Демин В.А., **Кондрашов А.Н.**, Пепеляев Д.В. Тепловая конвекция в ячейке Хеле-Шоу при действии центробежных сил // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2012. № 1. С. 14-25.

Продемонстрированная принципиальная возможность применения узких вертикальных слоев жидкости в качестве рабочих элементов конвертных акселерометров. Описаны лабораторные эксперименты, направленные на проведение оценок чувствительности потенциального прибора.

Публикации содержат в сумме 54 страницы и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Ингеля Л.Х. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации, новизна, научная и практическая значимость полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- Замечание о необходимости более подробного рассмотрения влияния аспектного соотношения на формирование конвективных структур.
- Замечание о том, что, по мнению автора, не все выводы диссертации имеют одинаковую ценность.
- Замечание об отсутствии пояснений к показателю экспоненты в формуле (2.8).
- Замечание о неточном указании геометрии установки в автореферате.
- Замечание об отсутствии в автореферате пояснений к кривым на рис.6.
- Замечание о слишком общем названии раздела 1.5 диссертации.
- Замечание о неточности утверждения о независимости скорости развития плюма от условий на узких границах.
- Замечание о слабом применении классификации Маджамдер к атмосферным явлениям.
- Замечание об опечатке на стр.15 диссертации.
- Замечание о неправильном наименовании штриховой линии на стр.66 диссертации.
- Замечание о неточностях в списке цитируемой литературы.

2. Положительный отзыв официального оппонента Козлова Н.В. В отзыве отмечено, что диссертация содержит новые результаты, расширяющие и обобщающие ранее известные закономерности развития тепловых плюмов. Оппонент отмечает следующие замечания:

- Замечание о опечатках в тексте диссертации.
- Замечание об уточнении подписи к рисунку 2.8 диссертации.

- Замечание об отличии температуры в слое и на поверхности слоя жидкости.
- Замечание о непрозрачности узких боковых границ для визуализации.
- Замечание о допущениях, при которых возможно использовать выражение 3.12.
- Замечание о некорректности использования термина «сферический» в узких слоях.
- Замечание об отсутствии пояснений расположения спаев сигнальной термопары.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается, что диссертация является завершённой научно-исследовательской работой в области экспериментального и теоретического исследования конвективных течений, возникающих в замкнутых областях над локализованным источником тепла. Научная и практическая значимость результатов диссертации состоит в том, что знание закономерностей возникновения течений над нагревателями в форме многоугольников может оказаться полезным при проектировании компактных электронных устройств с пассивным охлаждением, а также при решении практических задач, требующих эффективного управления течением и тепломассопереносом. Лабораторный образец конвективного акселерометра, созданный в рамках выполнения работы, может быть использован в качестве сейсмологического датчика низкочастотных ускорений или угломера. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- Замечание о граничных условиях на равноценности замены адиабатических граничных условий, условиями первого рода.
- Замечание об отсутствии указания граничных условий во второй главе.
- Замечание о моменте времени, в котором рассматривается скорость всплытия плюма.
- Замечание об уточнении оценки чувствительности акселерометра.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1. Положительный отзыв от Беклежановой В.Б., д.ф.-м.н., заведующей отделом обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН "Институт вычислительного моделирования СО РАН", г. Красноярск (2 замечания);
2. Положительный отзыв от Просвирякова Е.Ю., д.ф.-м.н., заведующего сектором нелинейной вихревой гидродинамики ФГБУН «Институт машиноведения УрО РАН» (без замечаний);
3. Положительный отзыв от Сираева Р.Р., к.ф.-м.н., доцента кафедры прикладной физики ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь (1 замечание);
4. Отрицательный отзыв от Сухановского А.Н., к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории «физической гидродинамики» ИМСС УрО РАН (5 замечаний);
5. Положительный отзыв от Цибулина В.Г. д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой теоретической и компьютерной гидроаэродинамики Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И.Воровича ФГБОУ ВО "Южный федеральный университет", г. Ростов-на-Дону (2 замечания).

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые

результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- Какие пакеты использовались для получения представленных результатов?
- Замечание об используемой уродливой системе оформления цитирования.
- Замечание о недостаточной самостоятельности автореферата, как самостоятельного труда.
- Остается неясным учитывались ли геометрия системы, в частности толщина жидкого слоя, при проведении исследований в главе 2. Зависят ли карты режимов от геометрии системы?
- Верно ли выписана формула (2) в автореферате (формула (2.8)) на стр. 45 в тексте диссертации)? Являются ли величины x , y , z , входящие в показатель экспоненты, размерными? Если да, то как трактовать размерный показатель степени?
- Важнейшим управляющим параметром в данной задаче является аспектное отношение. Для замкнутой полости необходимо учитывать два аспектных отношения, это отношение высоты слоя к размеру нагревателя и отношение горизонтального размера полости к размеру нагревателя. Автор игнорирует значение аспектного отношения. Аргументация не выдерживает никакой критики, исходя из того, что инфракрасная камера позволяет делать измерения только на поверхности жидкости он переходит от толстого слоя к тонкому.
- На Рис.1 и Рис.2. иллюстрируются результаты исследования формирования конвективных течений над протяженным источником тепла, в этом случае, в центральной части нагреваемой области, создаются условия для конвекции Рэлея-Бенара. Вполне вероятно, что в центральной части нагреваемой области автор наблюдает появление конвективных ячеек характерных для конвекции Рэлея-Бенара. При этом автор использует полученные результаты для описания развития теплового плюма в случае толстого слоя, когда аспектное отношение много больше единицы.
- Одним из четырех положений выносимых на защиту является обнаружение перехода от одного сценария формирования теплового плюма к другому. Подобная интерпретация результатов полученных в ходе расчетов для отношения размера нагревателя к высоте слоя 2.4 и экспериментов для аспектного отношения 18 вызывает серьезные возражения. Нет никаких двух сценариев, представленный результат не является новым.
- Факт потери устойчивости двухваликового течения от локализованного источника тепла известен и не является новым. Близкие по постановке исследования приведены (Hasnaoui M., Bilgen E., Vasseur P. *Journal of Thermophysics and Heat transfer*. - 1992; Kuznetsov G. V., Sheremet M. A. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. - 2010; Wei Y. et al. *Computers&Fluids*. - 2016.), исходя из этих работ можно сделать вывод о том, что устойчивость двухваликового течения существенно зависит от граничных условий. Автор не ссылается на них и не приводит сравнение результатов. Новым результатом является не обнаружение потери устойчивости двухваликового течения, а получение зависимости критического числа Рэлея от толщины слоя для заданных значений высоты и ширины слоя.

- На Рис.9а видно, что после перехода от режима с преимущественно теплопроводным теплопереносом наблюдается наличие двух областей с различным степенным показателем, что является необычным, так как в известных мне работах в которых приводится зависимость $Nu(Ra)$ для случая локализованных источников тепла такой переход не наблюдается. К сожалению автор ни в автореферате, ни в публикациях не приводит значений степенных показателей которые позволили бы оценить достоверность полученных результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области тепловой конвекции, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных исследований различных гидродинамических систем, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ФГБОУ ВО "Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова" (г. Москва) является одним из ведущих научных центров в области физической гидродинамики, включает в свою структуру Научно-исследовательский институт механики МГУ. В нем активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по широкому спектру проблем механики жидкостей и газов, теплопереноса, гидродинамической устойчивости конвективных течений. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на семинаре "Неустойчивость и турбулентность" НИИ механики МГУ в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны экспериментальные установки, позволяющие детально изучить эволюцию конвективного течения жидкости над локализованным источником тепла;

предложена формула для скорости роста теплового плюма над локализованным источником тепла в узкой вертикальной ячейке в случае постоянной температуры нагревателя;

доказано, что критическое значения числа Рэлея, разделяющее симметричный и асимметричный стационарные режимы течения, уменьшается с увеличением толщины и аспектного соотношения сторон слоя жидкости;

введено эффективное число Рэлея, определяющее границу областей реализации режимов одиночного или раздвоенного тепловых плюмов, критическое значение которого одинаково для всех нагревателей правильной многоугольной формы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана качественное изменение формы теплового плюма (одиночный или раздвоенный) при увеличении интенсивности нагрева;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):

использованы термопарные методы измерения, методы обработки снимков температурного поля над локализованным источником тепла, а также компьютерные методы обработки сигналов термопар;

изложены результаты экспериментального и теоретического исследования конвективного течения над локализованным источником тепла;

раскрыта возможность перехода от зеркально-симметричного к асимметричному стационарному режиму течения жидкости в узком вертикальном слое над локализованным источником тепла;

изучена динамика конвективного течения над нагревателями круглой, квадратной, треугольной и пятиугольной форм;

проведена модернизация подхода к анализу конвективных течений над локализованным источником тепла, основанная на учете конечного времени прогрева нагревателя.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана методика экспериментального исследования теплового плюма на начальной стадии, основанная на инфракрасной съемке поверхности жидкости;

определены перспективы использования узких вертикальных слоев в качестве рабочего элемента конвективных акселерометров, измеряющих низкочастотные сильные ускорения;

создана база экспериментальных данных для верификации теоретических моделей и численных схем;

представлены результаты измерений скорости всплытия теплового плюма и инерционных ускорений с помощью датчика конвекции.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные исследования проведены на современном оборудовании, обеспечивающем воспроизводимость результатов исследования в условиях проводившихся экспериментов;

идея базируется на обобщении передового опыта теоретических и экспериментальных исследований конвективных течений над локализованным источником тепла в замкнутых полостях;

использованы пакеты численного моделирования для получения и последующей обработки результатов

установлено качественное и количественное согласие полученных автором данных с известными результатами аналогичных теоретических и экспериментальных исследований.

Использованы цифровые технологии и современные экспериментальные методы исследований температурных полей.

Личный вклад соискателя состоит в создании экспериментальных установок, проведении лабораторных и численных экспериментов, получении данных и их последующей обработке, участии в обсуждении результатов, подготовке основных

публикаций по выполненной работе в научных журналах и представлении результатов на конференциях различного уровня.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задач экспериментального и математического моделирования конвективных течений вблизи локализованного источника тепла, имеющих существенное значение для методов измерения углов и низкочастотных ускорений.

На заседании 05 декабря 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Кондрашову А.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета Д 004.036.01

д.т.н., профессор, академик РАН

Матвеев Валерий Павлович



 / Матвеев В.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 004.036.01

д.ф.-м.н., доцент

Зуев Андрей Леонидович

 / Зуев А.Л.

06 декабря 2019 г.