

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.11.2016 № 136

О присуждении *Евграфовой Анне Валерьевне*, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Крупномасштабные течения и вихревые структуры в неоднородно нагретых слоях жидкости» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 8.09.2016, протокол № 121, диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Евграфова Анна Валерьевна 1989 года рождения, в 2012 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный университет» (ГОУ ВПО «ПГУ») по направлению «Физика», специализация «Физика акустических и волновых процессов». В 2016 г. окончила аспирантуру очной формы обучения в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории физической гидродинамики ИМСС УрО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Фрик Петр Готлобович, заведующий лабораторией физической гидродинамики ИМСС УрО РАН.

Официальные оппоненты:

1. Шварц Константин Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и информатики ПГНИУ (Пермь);
2. Маркович Дмитрий Маркович, доктор физико-математических наук, зам. директора ИТ СО РАН (Новосибирск)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова Российской академии наук, в своем положительном заключении, составленным Чхетиани Отто Гурамовичем, д.ф.-м.н., профессором, заведующим лабораторией геофизической гидродинамики, и утвержденном директором ФГБУН Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, чл.-корр. РАН И.И. Моховым, указала, что диссертация является законченной научно-

квалификационной работой на актуальную тему, в которой на основе выполненных автором экспериментальных исследований получены новые оригинальные результаты, вносящие существенный вклад в динамику конвекции с неоднородным нагревом. Эти результаты достаточно обоснованы и в достаточной мере отражены в публикациях автора. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Евграфова Анна Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискателем опубликовано 35 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 2 из которых также индексируются в базе Web of Science и Scopus. 5 статей в трудах международных и российских конференций, 23 тезиса докладов конференций. Наиболее значительные работы:

1. Евграфова А.В., Левина Г.В., Сухановский А.Н. Формирование завихренности и спиральности при взаимодействии адвективного потока с вторичными структурами // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т.6. - №4. - С. 451-459.
2. A. Sukhanovskii, A. Evgrafova, E. Popova Horizontal rolls over localized heat source in a cylindrical layer // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 2016. - Vol. 316. - P. 23–33.
3. A. Sukhanovskii, A. Evgrafova, E. Popova Laboratory study of a steady-state convective cyclonic vortex // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2016. - Vol. 142. - P. 2214-2223.

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

1. Положительный отзыв официального оппонента Марковича Дмитрия Марковича. В отзыве указывается на то, что в диссертации решены актуальные задачи по экспериментальному исследованию и численному моделированию течений в неоднородно нагретых слоях жидкости; полученные результаты имеют как фундаментальное значение, так и существенную практическую значимость. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- литературный обзор является не вполне исчерпывающим, хотя и достаточным по объему для кандидатской диссертации. В частности некоторые утверждения по тексту вызывают вопросы. Так, на странице 25 выражение «...Однако проведенные до настоящего времени численные эксперименты не дают оснований для поддержки идеи обратного каскада энергии» представляется не вполне обоснованными. Можно привести ряд ссылок, где наличие обратного каскада подтверждено численным моделированием.
- при постановке задачи утверждается, что использование силиконовых масел в качестве рабочих жидкостей позволяет минимизировать эффекты термокапиллярной конвекции. При этом было бы более корректно в квалификационной диссертационной работе провести количественные оценки влияния эффекта Марангони, на основе сопоставления соответствующего безразмерного критерия с критерием Рэлея. Кроме того, было бы более правильным привести в диссертации свойства используемых жидко-

стей (дана только ссылка на справочную литературу).

- в диссертации автор использует два пакета для математического моделирования – Fluent для системы без вращения и Flow Vision для системы с вращением. Чем обусловлен такой выбор? В чем преимущества каждого пакета для выбранной задачи? Не было бы более корректным использовать один и тот же пакет для минимизации эффектов алгоритмической реализации?
- на стр. 79, Рис. 3.12, видно, что сгущение сетки значительно влияет на результат расчета и наиболее близкие к эксперименту результаты получены при наибольшем разрешении ($h=0.5$ мм). Представляется, что было бы рациональным проанализировать указанную тенденцию при еще большем сгущении расчетной сетки. В идеале, приемлемым считалось бы разрешение, при котором дальнейшее сгущение не влияет на результат расчетов.
- в математической постановке задачи тепловым граничным условием является равенство теплового потока (мощности) на нагревателе и свободной поверхности жидкости и адиабатические условия на других границах. При этом тепловой поток оценивался на основе данных по мощности, подводимой к нагревателю. Для более корректного сопоставления с экспериментом было бы правильно учесть поправку на потери мощности за счет теплопроводности с нижней стороны нагревателя и по его периметру, либо, на основе оценок показать, что эти потери пренебрежимо малы. Кроме того, формула (2.7) записана некорректно – она показывает равенство теплового потока на нагревателе и свободной поверхности, что не так. Правильнее записать $P(\text{surf})=P(\text{heat})$.
- одним из выводов по второй главе является факт, что частота возникновения поперечных валов растет с увеличением потокового числа Рэлея. Не было ли предпринято попыток обобщения полученных результатов в безразмерной критериальной форме, в частности, на основе характерного числа Струхала?
- из методических замечаний по эксперименту хотелось бы отметить следующее. Для стратифицированных течений соотношение плотности несущей среды и трассерных частиц в разных областях потока является различным. В условиях низких скоростей потока эффекты, связанные с разностью плотностей, становятся существенными. Стратификация по плотности среды неизбежно приводит к стратификации по концентрации трассеров (за счет всплытия/опускания), особенно при существенной дисперсии по их размерам, что не может не влиять на соотношение сигнал/шум, и, соответственно, погрешность измерений. В диссертации этот вопрос не обсуждается.

2. Положительный отзыв официального оппонента Шварца Константина Григорьевича. В отзыве указано, что диссертация является законченным исследованием и выполнена на высоком научном уровне; работа содержит решение актуальных научных задач, имеющих важное теоретическое и практическое значение для современной гидродинамики. Оппонент отмечает следующие замечания:

- Несмотря на большой и содержательный обзор литературы, сделанный в первой главе, считаю, что необходимо было сослаться на работы Зимина В. Д., который пер-

вый в Пермской гидродинамической школе занялся задачами геофизической гидродинамики, сейчас эти задачи успешно продолжают исследовать его ученики.

- Было бы интересно узнать мнение диссертанта. Если бы возможно было увеличить размеры экспериментальной установки, то можно ли было бы тогда использовать в качестве жидкости воду? Было бы лучше или хуже?
- В параграфах 2.4 и 3.3 в математических постановках задач краевые условия описаны только словесно, но не приведены соответствующие формулы, а начальные условия не представлены вовсе.
- В выводах ко второй главе не достаёт сравнения результатов экспериментов и результатов численных расчетов.
- К сожалению, не обошлось без технических недостатков. Куда-то пропала часть ссылок в тексте диссертации. В автореферате неправильно проставлены номера глав. В третьей главе диссертации на стр. 60 вместо ссылки на вторую главу сделана ссылка на первую.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, основные научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов. Ведущая организация в качестве недостатков работы отмечает недоработанный материал по исследованиям спиральности в третьей главе и отдельные опечатки.

На автореферат поступило 4 отзыва:

1. Положительный отзыв от Ингеля Л. Х., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника ФГБУ Научно-производительное объединение «Тайфун» (Росгидромет), г. Обнинск;
2. Положительный отзыв от Смирнова Е.М., д.ф.-м.н., профессора РАН, заведующего кафедрой «Гидроаэродинамика, горение и теплообмен» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; Иванова Н. Г., к.ф.-м.н., доцента кафедры «Гидроаэродинамика, горение и теплообмен» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург;
3. Положительный отзыв от Шеремета М. А., д.ф.-м.н., профессора кафедры технической механики Томского государственного университета, г. Томск;
4. Положительный отзыв от Разуванова Н. Г., д.т.н, ведущего научного сотрудника кафедры Инженерной теплофизики Московского энергетического института, г. Москва; Краснощековой Т. Е., к.т.н., старшего научного сотрудника кафедры Инженерной теплофизики Московского энергетического института, г. Москва.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- Из автореферата неясно, какие математические модели использовались при моделировании рассматриваемых процессов в пакетах вычислительной гидродинамики Fluent и FlowVision, а также какие разностные схемы и конечно-элементные сетки применялись для решения отмеченных задач;

- В автореферате не указано, оценивалось ли влияние размера и положение локального источника энергии, а также размера цилиндрической полости на структуру течения.
- В качестве рабочей жидкости в работе использовалось силиконовое масло, характеризующееся высокими значениями числа Прандтля. В автореферате не приведены сведения о качестве сеточного разрешения при численном моделировании и, в частности, ничего не говорится о том, было ли достаточным разрешение в окрестности дна и боковых стенок емкости, где даже при умеренных числах Грасгофа могут формироваться весьма тонкие температурные слои;
- Постановке вычислительной задачи в автореферате вообще уделено существенно меньшее внимание по сравнению с описанием условий эксперимента. В частности, не указано, какие именно граничные условия использовались и, что самое главное, насколько точно воспроизводились при этом условия эксперимента;
- Проводилась ли для условий эксперимента оценка роли термокапиллярных эффектов на свободной поверхности? Учитывалась ли термокапиллярная конвекция в расчетах (косвенно, по приведенному в автореферате перечню определяющих параметров, можно сделать заключение о том, что эти эффекты не учитывались, однако это следовало бы указать явно)?
- Использование в тексте автореферата термина «верификация» (стр. 4, 6, 15) представляется не совсем удачным. В контексте представленного в автореферате сопоставления результатов трехмерного численного моделирования с данными лабораторного эксперимента более оправданным было бы использование термина «валидация» разработанной вычислительной модели;
- В тексте автореферата практически ничего не сказано о методике измерения полей скорости, не приводится пространственное разрешение метода и погрешность измерений.
- Не приведено сопоставление экспериментальных и расчетных данных для верифицируемого кода.

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.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

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

ведущая организация ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова Российской академии наук хорошо известна своими достижениями в области геофизической гидродинамики, в институте активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования, опираясь на достижения физики, механики и прикладной математики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика эксперимента, позволяющая описать процессы возникновения течений в неоднородно нагретом горизонтальном слое жидкости, полученные экспериментальные данные использованы для верификации математических моделей;

на основе численных данных предложена физическая интерпретация механизма возникновения вторичных структур в пограничном слое над источником нагрева, получены и проанализированы распределения спиральности над неоднородно нагретой поверхностью в неподвижном и вращающемся слое жидкости;

доказана зависимость структуры и интенсивности крупномасштабного конвективного вихря, возникающего над нагретым участком поверхности во вращающемся горизонтальном слое жидкости, от числа Экмана;

введен новый критерий, позволяющий определить границы устойчивости циклонического вихря, возникающего во вращающемся слое над локализованным источником нагрева.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано:

– течение, возникающее в неоднородно нагретом горизонтальном слое жидкости, имеет сложную многоуровневую структуру и включает крупномасштабную конвективную ячейку, охватывающую всю полость, и вторичные движения в области нагревателя;

– уменьшение вязкости, усиление нагрева и скорости вращения сначала приводят к потере осесимметричности конвективного вихря - его распаду.

– возможность возникновения в условиях свободной конвекции течения с положительной интегральной спиральностью.

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

использованы современные экспериментальные и численные методы исследования многомасштабных структур в условиях свободной конвекции;

изложены новые результаты, устанавливающие связь различных характеристик течения с распределением спиральности в реальной физической системе;

раскрыты особенности образования вторичных конвективных движений в пограничном слое над локализованным источником тепла в случае неподвижного слоя жидкости;

изучено влияние мощности нагрева, скорости вращения и вязкости жидкости на устойчивость циклонического вихря в случае вращающегося жидкого слоя;

проведена модернизация существующих экспериментальных методик, что обеспечило получение новых результатов по теме диссертации.

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

разработана и верифицирована модификация математической модели, позволяющая описать процессы возникновения течений в неоднородно нагретом цилиндрическом слое жидкости;

экспериментально **определены** периодический характер образования вторичных конвективных движений, степень влияния управляющих параметров на структуру и интенсивность крупномасштабного циклонического вихря спиральной структуры;

создана модификация математической модели в программном комплексе FlowVision для исследования структуры конвективного спирального вихря, который возникает во вращающемся слое жидкости над локализованным источником нагрева;

представлены результаты численного и лабораторного моделирования процессов образования вторичных движений в атмосферном пограничном слое и условий существования устойчивого циклонического вихря.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты получены с помощью метода цифровой трассерной визуализации, который позволяет проводить измерения полей скоростей, не оказывая возмущающего влияния на поток; температурные измерения проводились при помощи широко используемого и зарекомендовавшего себя метода термопарных измерений;

теория конвективной устойчивости слоёв жидкости основана на фундаментальных представлениях о физических свойствах и гидродинамике исследуемых систем;

идея базируется на обобщении передового опыта решения задач процессов массопереноса в природных системах;

использованы современные экспериментальные методики программные комплексы для решения задач гидродинамики;

установлено качественное и количественное согласие между данными проведенного численного моделирования и результатами лабораторных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении экспериментальной части работы по изучению вторичных течений в неподвижном слое жидкости, проведении анализа и обработки экспериментальных данных. Автор принимал участие в модернизации установки для исследования конвективного вихря во вращающемся слое жидкости и обработке всех полученных данных. Для численной реализации автором подготовлены математические модели в двух программных пакетах и осуществлено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований, обладающего понятной внутренней логикой; постановкой проблем сначала в общей форме, а затем сведением их к последовательности частных задач.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается

наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

На заседании 10 ноября 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Евграфовой А. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

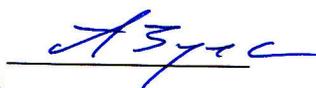
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человека, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета



/ Матвеев Валерий Павлович

Ученый секретарь
диссертационного совета



/ Зуев Андрей Леонидович

10.11.2016 г.

