

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 11.10.2018 № 22

О присуждении *Ишутову Сергею Михайловичу*, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Волновые режимы конвекции молекулярных бинарных смесей и коллоидных суспензий» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 26.06.2018, протокол № 17, 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 января 2018 г.

Соискатель Ишутов Сергей Михайлович 1989 года рождения, в 2012 г. окончил ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по специальности «Физика конденсированного состояния вещества», квалификация «Физик». В 2016 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация выполнена на кафедре физики фазовых переходов ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Научный руководитель – профессор кафедры физики фазовых переходов ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», д.ф.-м.н., профессор Смородин Б.Л.

Официальные оппоненты:

1. Ингель Лев Ханаанович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института экспериментальной метеорологии ФГБУ НПО «Тайфун» (г. Обнинск);
2. Перминов Анатолий Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей физики ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь)

дали положительные отзывы на диссертацию

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ), г. Ростов-на-Дону, в своем положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., доцентом Цибулиным В.Г., заведующим кафедрой теоретической и компьютерной

гидроаэродинамики Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И.Воровича ЮФУ и д.ф.-м.н., профессором Жуковым М.Ю., заведующим кафедрой вычислительной математики и математической физики Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И.Воровича ЮФУ, утвержденном и.о. проректора по научной и исследовательской деятельности ФГАОУ ЮФУ, д.х.н., доцентом Метелица А.В. указала, что диссертационная работа выполнена автором на современном уровне и является завершенной научно-исследовательской работой в области теоретического исследования конвекции молекулярных бинарных жидкостей и коллоидных суспензий. Применяемые в диссертации подходы могут быть использованы при изучении актуальных задач конвекции. Проведенные в работе исследования достоверны, выводы обоснованы. Представленная диссертационная работа «Волновые режимы конвекции молекулярных бинарных смесей и коллоидных суспензий» удовлетворяет критериям Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ишутов С.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискателем опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. Ishutov S.M., Myznikova B.I., Smorodin B.L. Convection of a binary mixture under high-frequency vibrations // *Comptes Rendus Mecanique*. – 2013. – Vol. 341. – P. 477-482.
2. Smorodin B.L., Myznikova B.I., Ishutov S.M. Travelling-wave convection in a binary fluid mixture under high-frequency vertical vibrations// *Phys. Rev. E*.–2014. –Vol. 89 (5). – 053004.
3. Smorodin B., Cherepanov I., Ishutov S. Convective flows of colloidal suspension in an inclined closed cell // *Fluid Dynamics Research*. – 2016. – Vol. 48. – P. 061423.
4. Smorodin B.L., Ishutov S.M., Myznikova B.I. On the convection of a binary mixture in a horizontal layer under high-frequency vibrations// *Microgravity-Science and Technology*. – 2018. – Vol. 30. – P. 95-102.

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

1. **Положительный отзыв официального оппонента Ингеля Л.Х.** В отзыве отмечается актуальность темы диссертации; высокая степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций и достоверности результатов, их новизна, а также научная и практическая значимость.

Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- В автореферате исходная система уравнений (2), не является общеизвестной для подавляющего большинства специалистов по данной специальности 01.02.05; представляется, что здесь следовало бы дать хотя бы литературную ссылку.
- При описании содержания Главы 4 в автореферате, не приведены краевые условия на боковых границах для температуры и концентрации примеси.
- Не всегда полностью пояснены обозначения. Например, в системе уравнений (10) я не нахожу пояснений обозначения n и α . Здесь ситуация усугубляется тем, что в другой

части автореферата (система уравнений (2)) то же обозначение n имеет другой смысл и так же не пояснено. Кроме того, в первом уравнении (2), насколько я понимаю, содержится существенная опечатка: вместо вектора γ (фигурирующего в диссертации) содержится вектор n , имеющий другой смысл. Некоторые из обозначений, более или менее понятных из контекста, все же лучше было бы пояснить (например, v в уравнении (2), Ψ_{loc} , Ψ_{max} в подписи к рис. 6).

- Реже подобные недостатки встречаются и в самой диссертации. Например, на стр. 16 фигурирует безразмерная величина $z^*=1/2$. Здесь можно догадаться, что используется некоторое масштабирование, поясненное гораздо ниже. На стр. 19 упоминается конкретное значение параметра разделения, который также вводится значительно ниже. Некоторые неточности встречаются в списке литературы. Например, в ссылке [24] название статьи не соответствует остальным выходным данным; видимо, это название попало туда по ошибке. Название книги [21] неточно.

- В отдельных случаях встречаются не очень удачные формулировки. Например: «Сильно неоднородный профиль концентрации означает, что зависимость концентрации от горизонтальной координаты..., взятая на фиксированной высоте ..., имеет вид постоянной величины в центрах областей конвективного перемешивания с отклонениями в узких пограничных слоях.» (стр. 16; мне представляется, что «сильно неоднородный профиль», вообще говоря, может означать и многое другое); «...процессы, происходящие в материаловедении» (стр. 15; здесь, вероятно, имеются в виду процессы, изучаемые в материаловедении). На стр. 35 вместо толщины слоя говорится о его «высоте».

- Для читателей литературного обзора не вполне понятной будет фраза: «Вибрационная конвекция другого типа связана с термовибрационным эффектом первого порядка по параметру температурной неоднородности жидкости...» (стр. 23).

- Диссертация, как и автореферат, не вполне свободна от опечаток. Например, в названии тезисов [3] содержатся сразу две опечатки.

2. Положительный отзыв официального оппонента Перминова А.В. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечаются новые результаты, актуальность темы диссертации; значимость работы для теории механики жидкостей и некоторых практических приложений; достоверность и высокая степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- Во введении в разделе, где описывается актуальность и степень разработанности темы, фактически не затронут вопрос актуальности исследования конвективных режимов в коллоидной суспензии. Почему такие смеси более интересны по сравнению со смесями с положительной термодиффузией?

- Фактически в диссертации не обсуждаются области применения бинарных смесей с отрицательной термодиффузией. В связи с этим возникает ряд вопросов:

- Существуют ли еще смеси с отрицательной термодиффузией, кроме упомянутых в диссертации? Если да, то каковы для них значения коэффициентов $Sore$ или параметра разделения?

- При любых ли концентрациях спирта в воде наблюдается аномальная термодиффузия? Как зависит, например, параметр разделения от концентрации?
- Какова практическая значимость исследований, связанных с бинарными смесями с отрицательной термодиффузией? Их значимость для теории сомнений не вызывает.
- После уравнений (2.13) в главе 2, автор предлагает рассмотреть устойчивость квазиравновесия. Затем подробно формулируется линейная задача устойчивости, но её решения и результаты не представлены. Зачем сформулирована линейная задача устойчивости? Решение этой задачи, как следует из обзора, было выполнено ранее. Вместо формулировки линейной задачи устойчивости в п. 2.2 было бы уместно обсудить известные результаты линейной теории устойчивости для данной задачи, приведя из неё значения критических параметров. В главах 2 и 3 не хватает сравнения результатов линейных и нелинейных расчетов. Например, совпадают ли значения критического числа Релея (Gr_{osc}) в линейной и нелинейной теориях.
- На стр.75 представлены значения материальных параметров для 8% раствора этанола в воде, при которых достигаются необходимые для модулированных бегущих волн значения чисел Гершуни и Релея. Однако, не сказано достигаются ли при этом необходимые значения параметра разделения $\epsilon = -0,25$ и числа Льюиса $Le = 0.01$.
- В итогах главы 3 всеобъемлющее утверждение, что «направленные вертикально высокочастотные вибрации малой и умеренной интенсивности не меняют качественно бифуркационную диаграмму конвективных режимов бинарной смеси» представляется не совсем обоснованным, т.к. исследований для достаточно широкого спектра коэффициентов разделения не проводилось.
- В начале п. 4.3 главы 4 представлен рисунок 4.3. Было бы разумно либо до рисунка, либо сразу после дать его краткое описание, а затем, в последующих частях п. 4.3, как это и сделано в диссертации, подробно его обсуждать.
- В конце п. 4.4 указывается на существование режима нерегулярных колебаний при достаточно больших углах наклона полости, но не приводятся значения чисел Релея, при которых эти режимы реализуются.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается, что диссертация является законченной научной работой, в которой получены новые существенные результаты по исследованию конвекции молекулярных бинарных смесей и коллоидных суспензий. Научная и практическая значимость результатов диссертации состоит в обнаружении и анализе свойств новых устойчивых режимов течения в молекулярных бинарных смесях и коллоидных суспензиях в виде модулированных бегущих волн. Теоретические модели и полученные результаты могут быть использованы при планировании лабораторных экспериментов по конвекции многокомпонентных систем, а также при решении практических задач, требующих эффективного управления течением и тепломассообменом. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- При моделировании не дается оценки отброшенных в системах уравнений членов, которые бы позволили учесть эффект Дюфора.
- В некоторых параграфах изложение излишне сжато, что затрудняет чтение работы.

Так, отсутствуют подробности аппроксимации системы уравнений, в частности, краевых условий (параграф 2.3). Там же опущена расшифровка обозначений к рис. 2.2, которая, однако, приводится в гл. 3 (стр. 64).

- Из текста неясно, на каком основании выбран размер ячейки для численного моделирования в случае слоя, см. гл.2 и рис. 2.7.
- Имеются огрехи с выбором символики. Например, буквой Θ обозначены разность температур на горизонтальных границах (стр. 38) и возмущение (стр. 42), а буквой φ – возмущение для функции тока (стр. 42) и завихренность (стр. 44).

На автореферат поступило 8 отзывов:

1. Положительный отзыв от Бекежановой В.Б., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск (без замечаний);
2. Положительный отзыв от Гончаровой О.Н., д.ф.-м.н., профессора кафедры дифференциальных уравнений ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, г. Барнаул (без замечаний);
3. Положительный отзыв от Шварца К.Г., д.ф.-м.н., профессора кафедры прикладной математики и информатики механико-математического факультета ФГБОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь (1 замечание);
4. Положительный отзыв от Елфимовой Е.А., д.ф.-м.н., заведующего кафедрой теоретической и математической физики, и Иванова А.О., д.ф.-м.н., профессора кафедры теоретической и математической физики, ФГБОУ ВО Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург (без замечаний).
5. Положительный отзыв от Просвирякова Е.Ю., д.ф.-м.н., заведующего сектором нелинейной вихревой гидродинамики ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург (1 замечание);
6. Положительный отзыв от Кривилева М.Д., д.ф.-м.н., заведующего лабораторией физики конденсированных сред ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, г. Ижевск (1 замечание);
7. Положительный отзыв от Зубарева Н.М., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ФГБУН «Институт электрофизики» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург (без замечаний);
8. Положительный отзыв от Шарифулина А.Н., к.ф.-м.н., доцента кафедры прикладной физики и Сираева Р.Р., к.ф.-м.н., доцента кафедры прикладной физики, ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь (2 замечания).

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- Увеличение числа Гершуни приводит к монотонному (практически линейному) снижению значений числа Релея, соответствующих переходам между различными режимами (стр. 8). Было бы хорошо, если бы эти зависимости были описаны аналитически.

- Единственное замечание заключается в том, что система (2) еще не является задачей. Краевую задачу формируют формулы (2) и (3). К слову, отмечу о необходимости явного определения оператора Гамильтона (набла-оператора) и лапласиана, используемых впервые в системе уравнений (2).
- На рис. 3 и 4 определение Ψ при его использовании на диаграммах не проведено. Если это интегральный параметр, характеризующий структуру течения в целом, тогда требуется задание функционала от поля скоростей или функции тока.
- На рис.2, изображающем линии тока пульсационного движения для двух значений угла наклона, не приведены численные значения, для которых они построены. Есть подозрение, что информацию о значениях изолиний несет цвет, тогда было бы естественно привести легенду с расшифровкой цветов.
- Не приведены параметры разностной схемы использованной в четвертой главе диссертации, – тип схемы (явная или неявная), сведения о пространственных и временных шагах сетки, аппроксимации граничных условий.

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 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 ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» является одним из ведущих научных центров по теории конвективного теплообмена и физической гидродинамике, в университете активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по широкому спектру проблем теплопереноса, гидродинамической устойчивости, конвективным течениям.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика анализа пространственно-временных характеристик конвективных волновых течений, позволяющая корректно учитывать влияние интенсивности и направления высокочастотных вибраций на характер течений молекулярной бинарной смеси или наклона ячейки на течения коллоидной суспензии;

предложена аналитическая зависимость, позволяющая с необходимой точностью найти границы вибрационно-конвективной неустойчивости молекулярной бинарной смеси с аномальной термодиффузией на основании результатов, известных для случая отсутствия вибраций;

доказано нарушение зеркально-сдвиговой симметрии конвективных течений в виде бегущих волн в бинарной молекулярной смеси с отрицательной термодиффузией под действием высокочастотных вибраций;

введена классификация устойчивых бегущих волн и колебательных режимов конвекции коллоидной суспензии в наклонной замкнутой ячейке, основанная на виде функции тока, Фурье-спектров и поля концентрации примеси.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказано существование новых устойчивых режимов течений (слабонелинейных и модулированных бегущих волн) молекулярной бинарной смеси с аномальной термодиффузией под действием вертикальных вибраций и коллоидной суспензии в наклонной ячейке, а также **проведен анализ** их свойств.

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

использован комплекс существующих методов исследования линейной устойчивости и конечно-разностных методов решения задач о нелинейной эволюции течений, а также метод обработки и визуализации результатов расчетов;

изложены доказательства существования различных режимов течения коллоидной суспензии в наклонной ячейке (режимы модулированной бегущей волны и волны, периодически меняющей направление движения, а также нерегулярный колебательный режим);

раскрыта возможность качественного изменения вида бифуркационной диаграммы состояний молекулярной бинарной смеси с аномальной термодиффузией при изменении интенсивности высокочастотных вертикальных вибраций;

изучено влияние интенсивности вибраций и наклона их оси к горизонтали на границы существования бегущих волн в горизонтальном слое бинарной смеси, обладающей аномальной термодиффузией;

проведена модернизация подхода к анализу свойств модулированных волн, бегущих в бинарных смесях и коллоидных суспензиях, основанная на учете поля концентрации.

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

разработана методика представления динамики конвективных вихрей на характеристических плоскостях;

определены условия существования бегущих волн в молекулярной бинарной смеси под действием высокочастотных вибраций, направленных под углом к горизонту;

создано модифицированное теоретическое описание конвекции коллоидной суспензии в наклонных замкнутых ячейках, которое может быть использовано при решении практических задач, требующих эффективного управления течением и тепло-массообменом;

представлены результаты, подтверждающие стабилизацию неустойчивого в статическом поле тяжести режима слабонелинейных бегущих волн в молекулярной бинарной смеси с помощью высокочастотных вертикальных вибраций.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных фактах и в предельных случаях согласуется с результатами других авторов;

идея базируется на обобщении передового опыта теоретического и экспериментального исследования конвективных течений молекулярных бинарных смесей и коллоидных суспензий;

использованы апробированные методы теоретического исследования, значения физических параметров изучаемых объектов, применяемых для количественных оценок, почерпнуты из авторитетных литературных источников;

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

использованы современные методы численного и аналитического исследования конвективных течений.

Личный вклад соискателя состоит в проведении аналитических и численных исследований, обработке данных численного эксперимента, участии в интерпретации полученных результатов, подготовке статей к публикации и представлении результатов исследования 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.

На заседании 11 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Иштуову С.М. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 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 Д 004.036.01

д.т.н., профессор, академик РАН

Матвеев Валерий Павлович

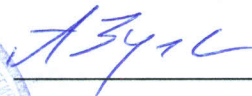
 / Матвеев В.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 004.036.01

д.ф.-м.н., доцент

Зуев Андрей Леонидович

 / Зуев А.Л.

18 октября 2018 г.

