

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Перминова Анатолия Викторовича

на диссертационную работу **Иштуова Сергея Михайловича**
«Волновые режимы конвекции молекулярных бинарных смесей и коллоидных суспензий»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Иштуова С.М. посвящена изучению волновых режимов конвективных течений, обусловленных транспортом молекулярной или коллоидной примеси. В качестве объектов исследования в работе рассмотрены плоский горизонтальный слой молекулярной бинарной смеси с отрицательной термодиффузией, находящийся в поле высокочастотных вибраций и замкнутая прямоугольная полость с коллоидной суспензией, в которой учитывается гравитационное оседание наночастиц.

Диссертантом четко сформулирована **цель работы**, которая заключается «в численном исследовании закономерностей возникновения и эволюции конвективных структур в молекулярной бинарной смеси, обладающей отрицательной термодиффузией, и коллоидной суспензии наночастиц при наличии осложняющих факторов (вибраций или наклона ячейки); моделировании нелинейной пространственно-временной эволюции надкритических режимов конвекции».

В работе представлены **новые** результаты исследований влияния интенсивности и угла наклона оси высокочастотных вибраций на структуру нелинейных конвективных течений в горизонтальном слое бинарной смеси жидкостей. Обнаружен **неизвестный ранее** эффект подавления бегущих волн, связанный с увеличением угла наклона оси вибраций. **Впервые** доказана возможность нарушения зеркально-сдвиговой симметрии бегущих волн в молекулярной бинарной смеси под воздействием высокочастотных вибраций. Установлены **неизвестные ранее** условия существования модулированных бегущих волн в горизонтальном слое молекулярной бинарной смеси под действием вибраций высокой частоты. Представлены **новые** результаты исследований влияния интенсивности нагрева и угла наклона замкнутой полости на режимы термогравитационной конвекции коллоидной суспензии.

Актуальность анализа течений, обусловленных гравитационным и вибрационным механизмами возбуждения конвекции в бинарных смесях, и течений в коллоидных суспензиях наночастиц, определяется возможностью их практического использования в различных технологических процессах, протекающих как в наземных условиях, так и в условиях микрогравитации. Изучение возможности управления интенсивностью тепло- и массообмена в таких системах с помощью вибрационных воздействий или наклона сосуда с жидкостью является **интересной и актуальной задачей**.

В результате исследований нелинейной динамики структур термовибрационной и термогравитационной конвекции в молекулярных жидкостных смесях и коллоидных суспензиях были обнаружены новые устойчивые режимы течений и проанализированы их свойства. Описанные в работе математические модели и полученные на их основе результаты можно применить при планировании лабораторных экспериментов, тестировании методов приближенного решения гидродинамических задач, а также решении практических задач, требующих эффективного управления течением и тепло-массообменом в бинарных смесях и коллоидных суспензиях. Все сказанное выше определяет **значимость работы для теории механики жидкостей и некоторых практических приложений**.

Достоверность результатов и высокая степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы определяется

применением физически обоснованных математических моделей; выбором известных расчетных методик и численных схем анализа; сопоставлением полученных решений с доступными экспериментальными данными или ранее опубликованными результатами других авторов, а также с известными точными решениями в некоторых предельных случаях.

Диссертация состоит из введения, главы с обзором литературы, трех глав с результатами исследований, заключения и списка литературы из 125 наименований. Общий объем диссертации 118 страниц, включая 42 рисунка и 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы и определена степень её разработанности, четко сформулированы цель и задачи диссертационной работы, описана научная новизна работы и перечислены полученные в диссертации новые результаты, указана практическая и теоретическая ценность работы, описана методология и методы исследований, определен личный вклад автора в полученные результаты.

В первой главе представлен достаточно подробный и качественный обзор публикаций по тематике диссертации, где обсуждаются оригинальные работы, монографии и научные обзоры по тепловой и вибрационной конвекции в молекулярных бинарных смесях, а также тепловой конвекции в коллоидных суспензиях.

Во второй главе проанализировано влияние угла наклона и интенсивности высокочастотных вибраций на возникновение конвекции и нелинейные конвективные течения молекулярной бинарной смеси с отрицательной термодиффузией в горизонтальном слое. Вначале главы описывается постановка задачи о термовибрационной конвекции бинарной смеси и обсуждаются условия механического квазиравновесия. Далее в главе обсуждаются бифуркационные диаграммы нелинейных конвективных течений, из которых видно, что увеличение интенсивности горизонтальных вибраций уменьшает критические значения чисел Релея, соответствующих переходам из состояния механического квазиравновесия в колебательный режим, от конвективного режима в виде бегущей волны к механическому квазиравновесию или от бегущей волны в режим стационарной конвекции. Показано, что увеличение угла наклона оси вибраций к горизонтали наоборот повышает соответствующие значения критических чисел Релея. Выявлено свойство высокочастотных вибраций, направленных под углом к горизонту, разрушать зеркально-сдвиговую симметрию бегущих волн.

Третья глава посвящена изучению нелинейных устойчивых режимов конвекции молекулярной бинарной смеси с отрицательной термодиффузией, заполняющей горизонтальный подогреваемый снизу слой при наличии вертикальных высокочастотных вибраций. Вначале главы приводится постановка задачи и описывается математическая модель. В результате решения поставленной задачи получено приближенное аналитическое выражение, демонстрирующее, что рост числа Гершуни (вибрационного числа Релея) приводит к линейному росту порога колебательной конвекции. Утверждается, что вертикальные вибрации малой и умеренной интенсивности не меняют качественно бифуркационную диаграмму конвективных режимов бинарной смеси. Рост интенсивности вибраций смещает границы области существования бегущих волн в область больших значений эффективного числа Релея. К качественным изменениям бифуркационной диаграммы приводят вибрации высокой интенсивности. Под действием таких вибраций режим со слабонелинейным распределением концентрации примеси становится устойчивым. Найден новый режим модулированных бегущих волн. На плоскости число Релея–число Гершуни приведены области существования режимов модулированных, сильно-нелинейных бегущих волн и стационарной конвекции. Доказано, что внутри области существования модулированной бегущей волны рост интенсивности теплового воздействия при фиксированном уровне вибраций увеличивает глубину модуляции волны.

В четвертой главе рассматривается конвекция коллоидной суспензии в замкнутой прямоугольной наклонной ячейке, при малых углах наклона к горизонтали. Вначале главы

обсуждаются система уравнений, граничные условия и численные методы решения поставленной задачи. В качестве основного результата можно указать бифуркационные диаграммы конвективных течений коллоидной суспензии. В ходе численных расчетов были определены области параметров, в которых существуют различные режимы конвекции, такие как: модулированные бегущие волны; нерегулярные колебания; волны, периодически меняющие направление движения при отражении от боковых граней ячейки; сложные течения, появляющиеся при увеличении угла наклона ячейки. Были изучены пространственно-временные характеристики и проанализированы свойства этих режимов.

В **заключении** перечислены основные результаты исследований, изложенных в диссертации.

К **достоинствам диссертации** следует отнести, приведенный автором, литературный обзор. Все задачи, представленные в диссертации, имеют четкую и ясную математическую формулировку. Результаты решения задач подробно проанализированы, из них выделены основные положения, которые лаконично, но достаточно полно, сформулированы в конце каждой главы и в заключении к диссертации. Диссертант показал хорошее владение современными численными методами.

К работе могут быть высказаны следующие **замечания**:

1. Во введении в разделе, где описывается актуальность и степень разработанности темы фактически не затронут вопрос актуальности исследования конвективных режимов в коллоидной суспензии. Так же не обсуждается причина выбора в качестве объекта исследования бинарной смеси с отрицательной термодиффузией. Почему такие смеси более интересны по сравнению со смесями с положительной термодиффузией?

2. В п. 1.3 приведено достаточно большое количество примеров коллоидных суспензий и указаны области их применения. Тогда, как в п. 1.1 и 1.2, посвященных молекулярным бинарным смесям с отрицательной термодиффузией упоминается всего о двух смесях. В остальной диссертации все упоминания сводятся к смеси этанол-вода. Для этой бинарной смеси приведен коэффициент разделения $\varepsilon = -0,25$. В главе 3 указывается еще одно значение $\varepsilon = -0,4$. Фактически в диссертации не обсуждаются области применения бинарных смесей с отрицательной термодиффузией. В связи с этим возникает ряд вопросов:

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

2.2 При любых ли концентрациях спирта в воде наблюдается аномальная термодиффузия? Как зависит, например, параметр разделения от концентрации?

2.3 Какова практическая значимость исследований, связанных с бинарными смесями с отрицательной термодиффузией? Их значимость для теории сомнений не вызывает.

3. 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 (Γ_{osc}) в линейной и нелинейной теориях.

4. На странице 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 $\varepsilon = -0,25$ и числа Льюиса $Le = 0.01$.

5. 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.

6. Вначале 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.

7. 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.

Рецензент считает возможным высказать ряд **пожеланий диссертанту**, которые могут явиться предметом дискуссии и использоваться для постановки будущих задач.

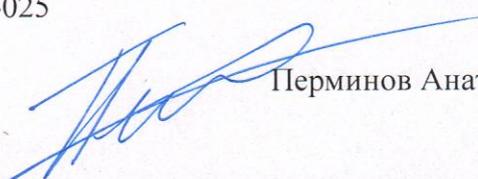
1. Интересно проанализировать влияние коэффициента разделения на конвективные течения, изученные в главах 2 и 3.
2. В п.1.3 говорится, что в неоднородно нагретых коллоидных суспензиях возможны два механизма разделения компонент: седиментационный и термодиффузионный. Интересно понять, в каких случаях основным механизмом разделения является седиментация, а в каких термодиффузия. Возможно, существуют ситуации, когда необходимо учитывать оба механизма разделения.

Приведенные замечания не снижают **общего положительного впечатления** от работы. Автореферат отражает содержание диссертации.

Заключение. Диссертация Ишутова С.М. выполнена на хорошем научном уровне. Диссертационная работа **Ишутова Сергея Михайловича** представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертационным работам, а ее автор заслуживает присуждения степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

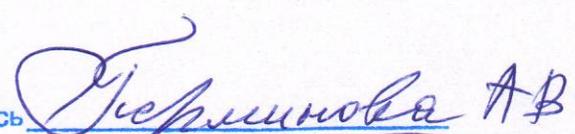
Доктор физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры Общей физики факультета Прикладной математики и механики ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский проспект, д. 29, а. 245, perminov1973@mail.ru, +7 (342) 2-198-025


Перминов Анатолий Викторович
18.09.2018

Я, Перминов Анатолий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку



Подпись 
ЗАВЕРЯЮ:
секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич
09 2018г.