

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по организации научной
и проектно-инновационной деятельности
федерального государственного
автономного образовательного учреждения

высшего образования «Южный
федеральный университет»,

д.э.н., доцент

И.К. Шевченко

» сентября 2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»,
о диссертационной работе Зубовой Надежды Алексеевны
«Возникновение и нелинейные режимы конвекции многокомпонентных смесей
в слоях и замкнутых полостях», представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Зубовой Н.А. посвящена исследованию нелинейных
режимов термоконцентрационной конвекции бинарных и трехкомпонентных жидких
смесей в плоском горизонтальном слое и прямоугольных полостях, нагреваемых
сверху или снизу, при разных уровнях статического поля тяжести, в отсутствие или
при наличии вибраций.

Актуальность темы. Анализ возникновения и развития конвекции в
многокомпонентных смесях является актуальным для проблем энергетики, геофизики
и экологии. Математические формулировки соответствующих моделей даются в виде
систем нелинейных уравнений в частных производных, при исследовании которых
необходимо применение численных методов и развитие программного обеспечения. В
настоящее время актуальным является исследование задач в трехмерной постановке и

с учетом присутствия примесей в насыщающей пористую среду жидкости.

Научная новизна диссертационной работы заключается в исследовании класса задач конвекции, моделировании специфических явлений, связанных с явлением пониженной гравитации и эффектом Соре. Новизной и самостоятельной ценностью обладают выполненные исследования задач конвекции многокомпонентных жидкостей в параллелепипедах.

Практическая ценность работы состоит в использовании ее результатов для прогнозирования поведения многокомпонентных смесей в природных и технологических процессах (распределение компонент в месторождениях углеводородов, геологические процессы в мантии Земли, разделение изотопов в жидких и газовых смесях и др.) и при планировании и подготовке экспериментов в условиях микрогравитации. Данные о влиянии вибраций могут быть использованы при разработке методов управления возникновением и развитием конвекции в многокомпонентных смесях.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на конференциях в России и за рубежом.

Публикации. По материалам работы опубликовано 22 работы, в том числе четыре статьи в журналах из перечня, рекомендуемых ВАК РФ.

Достоверность результатов обосновывается применением корректных методов дискретизации, подтверждается сравнением результатов проведенных численных экспериментов с данными аналитических исследований и апостериорного анализа.

Оценка содержания диссертации. Представленная диссертационная работа характеризуется полнотой и завершенностью. Текст диссертации включает постановку задач, описание используемых численных схем и проведенных исследований, изложен на требуемом научном уровне.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы.

Во **введении** представлен обзор литературы по теме диссертации и дана общая характеристика работы.

В **первой главе** представлены результаты численного исследования термоконцентрационной конвекции бинарных смесей с отрицательными отношениями разделения в областях различной геометрии при нагреве сверху. Исследуется устойчивость механического равновесия с вертикальным градиентом температуры. Проводится анализ численного решения линеаризованных задач об эволюции малых

возмущений нестационарного основного состояния. Расчеты показали, что время наступления неустойчивости уменьшается, а волновое число наиболее опасных возмущений растет с повышением концентрационного числа Релея (уровня тяжести). Проведено сопоставление зависимостей времени наступления неустойчивости и пространственного периода возникающих структур от концентрационного числа Релея с результатами, полученными при решении линейных и нелинейных задач.

Вторая глава посвящена численному исследованию возникновения нелинейных режимов конвекции трехкомпонентных смесей в квадратной полости при заданных вертикальных градиентах температуры и концентрации в поле тяжести. Решена задача линейной устойчивости механического равновесия трехкомпонентных смесей, определены границы монотонной и колебательной неустойчивостей при нагреве снизу и граница монотонной неустойчивости при нагреве сверху. Исследуются нелинейные режимы конвекции с разными значениями отношений разделения компонент.

В **третьей главе** исследовано влияние горизонтальных вибраций на режимы термоконцентрационной конвекции многокомпонентных смесей в прямоугольных областях. Исследована вибрационная конвекция трехкомпонентных смесей в прямоугольных полостях при заданных вертикальных градиентах температуры и концентрации в условиях невесомости. Исследовано влияние вибраций на нелинейные режимы конвекции бинарных смесей с отрицательными отношениями разделения при мгновенном нагреве верхней границы и однородном распределении концентрации в начальный момент времени.

В **заключении** представлена сводка результатов и выводы диссертации.

Следует отметить полученные в диссертации **основные результаты**:

1. При анализе эволюции возмущений механического равновесия бинарных смесей в нагреваемых сверху прямоугольных областях в численном исследовании получено, что время наступления неустойчивости уменьшается, а волновое число наиболее опасных возмущений растет с увеличением уровня тяжести по степенному закону, что согласуется с имеющимися в литературе экспериментальными данными.
2. Исследованы нелинейные режимы конвекции бинарных и трехкомпонентных смесей в прямоугольных полостях и показано, что добавление компоненты с положительным отношением разделения оказывает стабилизирующее действие, а компоненты с отрицательным отношением разделения – дестабилизирующее

действие.

3. В результате анализа устойчивости механического равновесия трехкомпонентных смесей с различными значениями отношений разделения компонент в квадратной полости найдены границы монотонной и колебательной неустойчивостей при нагреве снизу и граница монотонной неустойчивости при нагреве сверху.

4. Изучено влияние горизонтальных вибраций на возникновение конвекцию бинарных и трехкомпонентных смесей в прямоугольных полостях. Показано, что в невесомости при достижении некоторой интенсивности вибраций происходит перестройка структуры течения, связанная с неустойчивостью квазиравновесия жидкости в центральной части полости. Найдено, что вибрации ускоряют возникновение гравитационной конвекции в земных условиях и замедляют его в условиях микрогравитации.

В целом, проделанную диссертантом работу можно оценить положительно. Однако, по содержанию диссертационной работы имеется несколько замечаний:

1. Из текста диссертации неясно, проводились ли исследования влияния характеристик расчета (разрешение пространственной сетки, шаг по времени) на представленные результаты. Например, это касается результатов первой главы о временной эволюции функции тока, см. Рис. 17.

2. Во второй главе предполагается, что к задаче применено преобразование, диагонализирующее матрицу молекулярной диффузии. Требует объяснения возможность такой диагонализации матрицы коэффициентов молекулярной диффузии.

3. В диссертационной работе присутствует небольшое количество опечаток, а во введении имеются некоторые формулы, для которых не приведены обозначения, например, формула для размерности времени на странице 1. На стр. 170 вместо «Честное сообщение» следует «Частное сообщение»

4. В диссертационной работе отсутствуют подробности программной реализации используемых методов, которые могли быть описаны в Приложении. Дополнительно можно было поместить информацию о сходимости и устойчивости численных схем.

Указанные выше недостатки не влияют на положительную оценку работы.

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, которая содержит решение актуальной задачи о возникновении и нелинейных режимах конвекции многокомпонентных смесей в слоях и замкнутых полостях при различных уровнях силы тяжести, а также при вибрациях, перпендикулярных

градиенту температуры.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных Н.А. Зубовой, подтверждаются результатами применения хорошо зарекомендовавших себя различных методов исследования, а также хорошим согласием с известными теоретическими и экспериментальными результатами других авторов.

Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком. Стиль изложения доказателен. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа прошла апробацию на многочисленных конференциях российского и международного уровня и соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа «Возникновение и нелинейные режимы многокомпонентных смесей в слоях и замкнутых полостях» удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор Зубова Надежда Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук (05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцентом, профессором кафедры вычислительной математики и математической физики Института математики, механики и компьютерных наук, Цибулиным Вячеславом Георгиевичем (344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8а, ИММиКН ЮФУ, тел. 8(863) 297-51-10, электронная почта vgcibulin@sfedu.ru).

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры вычислительной математики и математической физики Института математики, механики и компьютерных наук Южного федерального университета (протокол № 1 от 22 сентября 2016 г.).

Заведующий кафедрой вычислительной
математики и математической физики,
профессор, д.ф.-м.н.

Ведущий специалист по работе с персоналом
«Южный Федеральный Университет»
20.09.2016 г.

Личную подпись

ЗАВЕРЯЮ:

20.09.2016 г.

Жуков Михаил Юрьевич