

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт  
механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10.03.2016, протокол № \_\_\_\_\_

О присуждении *Самойловой Анне Евгеньевне*, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Конвективная устойчивость горизонтальных слоев жидкости с деформируемой границей раздела» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 24 декабря 2015 г, протокол № 98 диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева 1, утвержденном приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

**Соискатель** Самойлова Анна Евгеньевна 1987 года рождения, в 2008 году окончила программу бакалавриата, а в 2010 году магистратуру в ГОУ ВПО «Пермский государственный университет». С 11.2010 обучается в аспирантуре кафедры теоретической физики ФГБОУ ВПО "Пермский государственный национальный исследовательский университет". Диссертация выполнена на кафедре теоретической физики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

**Научный руководитель** – Демин Виталий Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», заведующий кафедрой теоретической физики.

**Официальные оппоненты:** 1) Гончарова Ольга Николаевна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры дифференциальных уравнений ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет» (г. Барнаул), и 2) Файзрахманова Ирина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры общей физики ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», в своем положительном заключении, подписанном Брацуным Дмитрием Анатольевичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры теоретической физики и компьютерного моделирования, и к.ф.-м.н. Полежаевым Денисом Александровичем, деканом физического факультета, и утвержденном на научно-образовательном семинаре физического факультета, указала, что диссертация А.Е.Самойловой представляет собой научно-квалификационную работу, которая посвящена теоретическому исследованию тепловой конвекции в слоях жидкости при наличии свободной поверхности или границы раздела сред. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения уч-

ной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

**Соискателем опубликовано** 23 научные работы, в том числе из них 2 работы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки. В работах доказано существование новой моды колебательной неустойчивости слоя жидкости со свободной поверхностью, основным механизмом которой является раскачка капиллярных волн за счет теплового расширения жидкости; подтверждено существование новой колебательной моды конвекции Марангони в тонкой пленке жидкости за рамками длинноволнового приближения; выведены амплитудные уравнения термокапиллярной конвекции, описывающие эволюцию толщины тонкой пленки жидкости и осредненной по высоте температуры жидкости в рамках двухслойного подхода; проведен линейный и слабонелинейный анализ возникновения трехмерных структур на квадратной решетке в результате возбуждения термокапиллярной неустойчивости тонкой пленки жидкости.

**Наиболее значительные работы:**

1. Samoilova A.E. and Lobov N.I. On the oscillatory Marangoni instability in a thin film heated from below // Phys. Fluids. 2014. Vol. 26. P. 064101.
2. Samoilova A.E. and Shklyaev S. Oscillatory Marangoni convection in a liquid-gas system heated from below // Eur. Phys. J. Special Topics. 2015. Vol. 224, N 2. P. 241–248.

**На диссертацию поступили отзывы** от ведущей организации и оппонентов.

1. Положительный отзыв ведущей организации утвержден ректором ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет» к.ф.-м.н., профессором А.К. Колесниковым. В нем указывается на разнообразие теоретических методов, применяемых в ходе диссертационного исследования. Указывается на возможное пересечение полученных результатов с циклом работ по спинодальному спаду тонких пленок жидкости, на модельный характер используемых значений управляющих параметров, на нечеткую формулировку актуальности диссертационного исследования. Из текста диссертации неясно происхождение второй длинноволновой моды неустойчивости, наблюдавшейся на дисперсионной кривой на стр.37. Отмечается неточное цитирование первоисточников, неуместное использование термина «легирование», ряд опечаток, ошибок транскрипции, незначительной путаницы со ссылками.

2. Положительный отзыв официального оппонента О.Н. Гончаровой. В нем отмечается актуальность тематики исследования в приложении к технологическим процессам и природным явлениям. Высказывается замечание, что при обзоре работ по новым моделям конвекции следовало бы сделать ссылки на монографии В.К. Андреева, В.Б. Мосеенкова, В.И. Юдовича, где также проведен анализ существующих моделей тепловой конвекции. Указывается на недостаточно подробное описание используемой модели, определение некоторых ключевых управляющих параметров. Отмечаются некоторые неточности в математических формулировках (например, определение кривизны свободной поверхности, касательные проекции тензора вязких напряжений), использование неудачных обозначений, опечатки в ссылках и использование сленга.

3. Положительный отзыв официального оппонента И.С. Файзрахмановой. Оппонент отмечает обширный обзор литературы и подробное изложение диссертантом полученных результатов, тщательность в исследовании и аккуратность при проведении слабонелиней-

ного анализа, построении нейтральных кривых и карт устойчивости. Отмеченные замечания касаются уточнения, в каких реальных средах и условиях могут наблюдаться обнаруженные эффекты, а также математической постановки задачи (почему дивергенция скорости не равна нулю в уравнениях?).

**На автореферат поступило 8 отзывов:** 1) Положительный отзыв от к.ф.-м.н. Попова Е.А., инженера-конструктора-расчетчика отдела систем инженерного анализа и к.ф.-м.н. Никитина Д.А., инженера-конструктора-расчетчика отделения компрессоров ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь); 2) Положительный отзыв без замечаний от д.ф.-м.н. Морозова К.И., научного сотрудника факультета химических технологий Израильского технологического института «Технион» (г. Хайфа, Израиль); 3) Положительный отзыв от д.ф.-м.н., доцента Мелких А.В., профессора кафедры технической физики ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»; 4) Положительный отзыв без замечаний от к.ф.-м.н. Беляева А.В., старшего научного сотрудника физического факультета ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; 5) Положительный отзыв от д.ф.-м.н., профессора Саранина В.А., профессора кафедры физики и дидактики физики ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт»; 6) Положительный отзыв без замечаний от д.ф.-м.н. Рыжкова И.И., ведущего научного сотрудника ФГБУН «Институт вычислительного моделирования СО РАН» (г. Красноярск); 7) Положительный отзыв к.ф.-м.н. Бекежановой В.Б., старшего научного сотрудника ФГБУН «Институт вычислительного моделирования СО РАН» (г. Красноярск); 8) Положительный отзыв д.ф.-м.н., доцента Шеремета М.А., профессора кафедры теоретической механики ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

**В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:**

- Пожелание расширить рамки исследования, и в дальнейшем провести полные расчеты нелинейных конвективных режимов с учетом деформируемости границ в тех областях параметров, которые вызывают наибольший интерес.
- Система уравнений для тепловой конвекции на стр.8 содержит три уравнения. Причем два из них нестационарные, а уравнение, описывающее тепловое расширение жидкости, записано в стационарном виде. В чем причина подобной несимметрии?
- На странице 8 автореферата сказано, что система уравнений дополняется уравнением состояния в экспоненциальном виде. Какой именно вид уравнения имеется в виду?
- Малое количество рисунков в автореферате (всего два рисунка)
- На с.25 диссертации автор вводит параметр Буссинеска  $\varepsilon = \beta\Theta$ , где  $\Theta = T_1 - T_2$ ,  $T_2$  – температура на свободной границе. При этом значение  $T_2$  определяется из граничного условия третьего рода на свободной границе. Видимо, определение параметра Буссинеска указанным способом требует дополнительных пояснений.
- В п.1.4 исследуются характеристики устойчивости Рэлея-Бенара-Марангони в широком диапазоне значений числа Прандтля. В качестве уравнения состояния автор использует экспоненциальную зависимость плотности от температуры. Насколько согласуется выбор такого уравнения состояния для сред с рассматриваемыми значениями числа Прандтля? Или автор решает модельные задачи, которые не предполагают

выбора конкретных жидкостей (например, расплавов или жидких металлов, для которых числа Прандтля малы, либо, наоборот, вязких жидкостей, для которых характерны значения  $Pr$  порядка 10)?

- Стоило привести сравнения результатов применения приближения Буссинеска и альтернативной модели тепловой конвекции для слоя жидкости со свободной деформируемой границей, отражающие пределы применимости буссинесковского приближения в рамках рассматриваемой задачи.
- Из автореферата неясно, проводилось ли сравнение полученных результатов с известными экспериментальными или теоретическими данными.

Вместе с тем, в положительных отзывах отмечено, что диссертация является завершенным научно-квалификационным исследованием, имеющим несомненное фундаментальное значение, докторант успешно сочетает аналитические и численные методы исследования, а результаты работы опубликованы в ведущих мировых научных журналах в области механики жидкости.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются известными ведущими специалистами в области гидродинамики и процессов тепломассообмена в системах со свободной границей, имеют публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет» хорошо известна своими достижениями в области механики жидкости и газа, в университете активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования в области гидродинамической устойчивости.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** теоретическая модель для описания крупномасштабной конвекции в тонких слоях жидкости с деформируемой поверхностью;

**предложен** новый механизм конвективной неустойчивости слоя жидкости со свободной деформируемой границей;

**доказана** значимость двухслойного подхода в исследовании конвективной устойчивости тонкой пленки;

**введена** – по результатам слабонелинейного анализа – классификация типов неустойчивости и построены карты режимов, возникающих в тонких слоях жидкости со свободной деформируемой поверхностью.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано**

- существование колебательной неустойчивости слоя жидкости при нагреве со стороны свободной поверхности даже в отсутствие гравитации и термокапиллярного эффекта;
- существование колебательной термокапиллярной неустойчивости в тонкой пленке жидкости с деформируемой поверхностью при нагреве со стороны подложки;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс численных и аналитических методов исследования конвективной устойчивости слоя жидкости; последовательно изложены результаты линейного анализа устойчивости слоев жидкости со свободной поверхностью и слабонелинейных расчетов, что обосновывает достоверность выводов, полученных в работе;**

**раскрыты** особенности поведения неоднородно нагретого горизонтального слоя жидкости со свободной деформируемой поверхностью при наличии термокапиллярного эффекта и плавучести;

**изучена** роль деформации свободной поверхности в возникновении неустойчивости нагретого горизонтального слоя жидкости;

**проведена модернизация** существующих математических моделей, обеспечивающая получение новых результатов по теме диссертации.

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

**разработаны** рекомендации по экспериментальному обнаружению новой колебательной моды термокапиллярной неустойчивости тонкой пленки жидкости, подогреваемой снизу;

**определенны** критические значения управляющих параметров, при которых происходит развитие неустойчивости слоя жидкости со свободной деформируемой границей;

**создана** теоретическая модель, описывающая в рамках двухслойного подхода крупномасштабную конвекцию Марангони в тонкой пленке жидкости с деформируемой свободной поверхностью;

**представлены** – в широком диапазоне параметров – карты устойчивых вторичных режимов, возникающих в результате неустойчивости тонкого слоя жидкости с деформируемой свободной границей.

**Другие научные достижения, свидетельствующие о научной новизне и значимости полученных результатов**

Получены новые данные об устойчивости тонких слоев жидкости на твердой подложке при наличии деформируемой свободной границы.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

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

**идея базируется** на обобщении современного мирового опыта по аналитическому и численному исследованию задач гидродинамической устойчивости;

**использованы** современные апробированные численные и аналитические методы, проведено сравнение результатов автора и данных, полученных в ранее выполненных исследованиях по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное и количественное соответствие полученных результатов с известными данными, касающимися предельных случаев решаемых задач;

**Личный вклад соискателя состоит в** непосредственном участии в планировании исследований и постановке конкретных задач, выборе методов исследования, проведении численных и аналитических расчётов, анализе полученных данных. Интерпретация полу-

ченных результатов и подготовка основных публикаций по выполненной работе проводилась автором совместно с научным руководителем.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается единым подходом к решению нескольких задач по устойчивости горизонтальных слоёв жидкости и взаимосвязью основных выводов.**

**Диссертационный совет пришел к выводу**, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным "Положением о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г.

На заседании 10 марта 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Самойловой А.Е. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

10.03.2016 г.

Роговой Анатолий Алексеевич

Зуев Андрей Леонидович

