

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 21.11.2024 № 139

О присуждении Никулиной Светлане Анатольевне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Влияние высокочастотных вибраций и гравитационного поля различной интенсивности на конвективные течения ньютоновской и псевдопластической жидкостей» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 19.09.2024, протокол № 134, 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.

**Соискатель** Никулина Светлана Анатольевна 1978 г. рождения, в 2001 г. окончила ГОУ ВПО "Пермский государственный университет" по специальности «Физика». В 2022 г. окончила аспирантуру очной формы обучения в ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры общей физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". Диссертация выполнена в ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет"..

**Научный руководитель** – д.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой общей физики ФГАОУ ВО ПНИПУ Перминов Анатолий Викторович.

**Официальные оппоненты:**

1. Матвиенко Олег Викторович, доктор физико-математических наук (01.02.05), старший научный сотрудник, профессор кафедры автомобильных дорог ФГБОУ ВО "Томский государственный архитектурно-строительный университет" (г. Томск);
2. Субботин Станислав Валерьевич, кандидат физико-математических наук (01.02.05), доцент кафедры физики и технологии физического факультета ФГБОУ ВО "Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет" (г. Пермь);

дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Удмуртский государственный университет" (УдГУ), г. Ижевск, в своем положительном заключении, составленным д.ф.-м.н. Кривилевым М.Д., заведующим лабораторией физики конденсированных сред; к.ф.-м.н. Груздь С.А., научным сотрудником, и утвержденном проректором по научной работе и программам стратегического развития УдГУ, д.э.н., профессором Макаровым А.М., указала, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую

работу в области теоретического и численного исследования закономерностей совместного влияния гравитационного и вибрационного воздействий различной интенсивности на движение ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутой прямоугольной полости. Актуальность темы объясняется необходимостью развития и разработки фундаментальных основ теории вибрационной конвекции линейно- и нелинейно-вязких сред и управления такими течениями, так как влияние вибраций на конвективные течения псевдопластических жидкостей при различной интенсивности гравитационного поля недостаточно изучено. Представленная диссертационная работа «Влияние высокочастотных вибраций и гравитационного поля различной интенсивности на конвективные течения ньютоновской и псевдопластической жидкостей» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Никулина Светлана Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Соискателем опубликовано** 4 статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. Perminov A.V., **Nikulina S.A.**, Lyubimova T.P. Influence of high frequency vertical vibrations on convective regimes in a closed cavity at normal and low gravity conditions // Microgravity Science and Technology. 2021. Vol. 33. Art. id. № 55. P. 1-18. (Scopus Q2).

*В работе численно исследовано влияние высокочастотных вибраций на конвекцию высоковязкой ньютоновской жидкости в бесконечно длинном горизонтальном цилиндре квадратного сечения, который совершает вертикальные, линейно-поляризованные высокочастотные вибрации, изучена эволюция осредненных конвективных режимов, на плоскости управляющих параметров построена карта этих режимов, определена граница устойчивости стационарной осредненной конвекции.*

2. Perminov A.V., **Nikulina S.A.**, Lyubimova T.P. Analysis of thermovibrational convection modes in square cavity under microgravity conditions // Microgravity Science and Technology. 2022. Vol. 34. Art. id. № 34. P. 1-10. (Scopus Q2).

*В работе исследованы режимы термовибрационной конвекции ньютоновской жидкости в полости квадратного сечения в условиях микрогравитации, совершающей линейно-поляризованные высокочастотные вибрации в направлении гравитационного поля, получены карты режимов конвекции на плоскости управляющих параметров и граница устойчивости стационарной осредненной конвекции.*

3. **Никулина С.А.**, Перминов А.В., Любимова Т.П. Конвективные режимы псевдопластической жидкости в квадратной полости при воздействии высокочастотных вибраций в условиях пониженной гравитации // Вычислительная механика сплошных сред. 2024. Т.17, № 2. С. 202-218. (ВАК K1; Scopus Q3).

*В работе исследованы конвективные режимы в псевдопластической жидкости в условиях пониженной гравитации в полости квадратного сечения, совершающей вертикальные линейно-поляризованные вибрации малой амплитуды; обнаружены два типа конвективных режимов.*

4. **Никулина С.А.**, Перминов А.В., Любимова Т.П. Термовибрационная конвекция псевдопластической жидкости в прямоугольной полости // Вестник Пермского

университета. Серия: Физика. 2020. № 3. С. 14-23. (ВАК К3).

*В работе изучена термовибрационная конвекция псевдопластической жидкости в замкнутой полости прямоугольного сечения в условиях невесомости под действием высокочастотных линейно-поляризованных вибраций, определены пороговые значения вибрационного числа Грасгофа и значения числа Нуссельта, соответствующие смене режима течения.*

Публикации содержат в сумме 55 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

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

1. Положительный отзыв официального оппонента Матвиенко О.В. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации; отмечены новизна, научная и практическая значимость и достоверность полученных результатов, личный вклад автора. Оппонент отмечает следующие замечания по тексту диссертации и автореферата:

- замечание об отсутствии ясности выбора величины шага по времени, а также точности интегрирования уравнений по времени;
- рекомендации относительно дальнейшей перспективы решения трехмерных задач и их описания в естественных переменных;
- вопрос про пороговые значения управляющих параметров, при которых ламинарные режимы течений переходят в турбулентные;
- рекомендация использования в дальнейших исследованиях распределения интенсивности скоростей сдвиговых деформаций в потоке жидкости;
- вопрос об оценке значимости эффекта диссипативного разогрева при конвективном движении жидкости;
- рекомендации относительно учета зависимости от температуры реологических параметров неньютоновских сред;
- замечание относительно опечаток в диссертационной работе и в автореферате.

2. Положительный отзыв официального оппонента Субботина С.В. В отзыве отмечено, что полученные в диссертационной работе результаты обладают научной новизной. Теоретическая значимость работы обусловлена обилием полученных закономерностей в неньютоновских жидкостях при вибрационном воздействии, в том числе и в условиях невесомости. Знания о динамике неньютоновских жидкостей в вибрационных полях важны для промышленности при производстве и переработке жидкостей с различными реологическими свойствами. Оппонент отмечает следующие замечания по тексту диссертации и автореферата:

- замечание по первой главе о реферативной форме описания источников в литературном обзоре;
- замечание относительно несоответствия в обозначениях одних и тех же физических величин;
- вопрос относительно использования вязкости при нулевой скорости сдвига для оценки частоты вибраций;
- замечание об аспектном соотношении для квадратной и прямоугольной полостей;

- вопрос об обоснованности применения вибрационного параметра вместо безразмерной частоты вибрации;
- замечание о порядке изложения материала диссертации;
- вопрос о сравнении порога перехода к колебательному режиму с известными из литературы предельными случаями;
- вопрос об отсутствии разложения на гармоники временных разверток для зависимостей максимума функции тока и числа Нуссельта;
- вопрос о сравнении результатов, полученных в главе 5 с таковыми из предыдущих глав.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБОУ ВО УдГУ. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу теоретического и численного исследования закономерностей совместного влияния гравитационного и вибрационного воздействий различной интенсивности на движение ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутой прямоугольной полости. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение, так и существенную практическую значимость. Ведущая организация отмечает следующие замечания по тексту диссертации и автореферата:

- замечание о дублировании векторных обозначений в уравнении (2.6);
- вопрос о причинах малости амплитуды колебаний числа Нуссельта на рисунке 3.5;
- замечание об отсутствии точного определения термина «микрोगравитация».

**На автореферат поступило 8 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Алабушева А.А., к.ф.-м.н., доцента, старшего научного сотрудника лаборатории вычислительной гидродинамики Института механики сплошных сред ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН", г. Пермь (3 замечания);
2. Положительный отзыв от Бердникова В.С., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ФГБУН "Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН", г. Новосибирск (4 замечания);
3. Положительный отзыв от Брацуна Д.А., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой прикладной физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь (2 замечания);
4. Положительный отзыв от Демёхина Е.А. д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией электро- и гидродинамики микро- и наномасштабов ФГБОУ ВО "Финансовый университет при правительстве Российской Федерации" (Краснодарский филиал), г. Краснодар (2 замечания);
5. Положительный отзыв от Демина В.А., д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой теоретической физики ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", г. Пермь (1 замечание);
6. Положительный отзыв от Минакова А.В., д.ф.-м.н., директора Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет", г. Красноярск (4 замечания);
7. Положительный отзыв от Полежаева Д.А. к.ф.-м.н., доцента кафедры физики и технологии ФГБОУ ВО "Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет", г. Пермь (3 замечания);

8. Положительный отзыв от Шеремета М.А., д.ф.-м.н., доцента, заведующего лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса; Мирошниченко И.В., к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры теоретической механики, ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский государственный университет", г. Томск (2 замечания).

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

- замечание об отсутствии структур пульсационных течений;
- вопрос об устойчивости ньютоновской моды при увеличении интенсивности течения;
- вопрос о полной защите публикациями всех заявленных результатов работы;
- вопрос о течениях, возникающих в пограничных слоях и их корректном разрешении в численных расчетах;
- вопрос об корректности использованной терминологии, оценок и приближений;
- вопрос о выборе масштаба амплитуды пульсационной скорости;
- вопрос о геометрических параметрах исследуемых полостей;
- вопрос о причинах написания собственного численного кода;
- вопрос об обоснованности использования двухполевого метода при решении задач и корректности применяемых граничных условий;
- вопрос о верификации и валидации математической модели и расчетного кода;
- в автореферат не включены ссылки на работы индексируемые в РИНЦ;
- вопрос относительно построения границы устойчивости конвективных режимов;

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 оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются одними из ведущих специалистов в области физической гидродинамики, в частности проблем теплопереноса в линейно- и нелинейно-вязких жидкостях при вибрационных воздействиях, имеют большое число публикаций в рейтинговых изданиях, где изложены теоретические и экспериментальные результаты; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** Институт математики, информационных технологий и физики ФГБОУ ВО "Удмуртский государственный университет", г. Ижевск, является одним из ведущих научных центров в области термодинамики фазовых переходов в сильно неравновесных системах, динамики развития межфазных границ и структурообразования в многофазных системах. В нем активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по физике процессов массопереноса вблизи фазовых поверхностей при высоких числах Рейнольдса. Университет является учредителем научного журнала «The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science» индексируемого в SCOPUS (Q3), где публикуются статьи по теоретической механике, механике жидкости, математическому моделированию, математическим методам и комплексам программ. В Университете существует ряд научных школ и направлений, например, «Разработка систем имитационного моделирования технических систем и процессов», «Разработка и

применение современных методов теории динамических систем и теории управления для задач математической физики, механики, робототехники», где могут быть использованы результаты диссертации.

Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов, обсужден и одобрен на заседании лаборатории физики конденсированных сред Института математики, информационных технологий и физики ФГБОУ ВО УдГУ 09.10.2024 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработана** программа (вычислительный код) для численного исследования нелинейных режимов конвекции ньютоновской и псевдопластической жидкостей в прямоугольных полостях с различными аспектными отношениями в поле высокочастотных вибраций;

**предложено** для изучения комбинированной вибрационной и гравитационной осредненной конвекции ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутых полостях разделить описание вибрационного и гравитационного механизмов её генерации;

**доказано**, что увеличение интенсивности вибраций приводит сначала к стабилизации стационарного осредненного конвективного течения ньютоновской жидкости, а затем к его дестабилизации; после потери устойчивости в полости возможна реализация симметричных или несимметричных осредненных колебательных конвективных режимов; в псевдопластической жидкости для одного значения вибрационного параметра возможна реализация двух различных режимов осредненной конвекции;

**введена** карта режимов осредненной конвекции жидкости на плоскости управляющих параметров число Грасгофа – вибрационный параметр в квадратной полости, совершающей высокочастотные линейно-поляризованные вибрации.

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

**доказано** существенное влияние высокочастотных вибраций на эволюцию и устойчивость осредненных конвективных течений ньютоновской и псевдопластической жидкостей в широком диапазоне управляющих параметров и условиях нормальной, пониженной и микрогравитации; что в случае псевдопластической жидкости вибрационный параметр играет определяющую роль в части осредненной вибрационной силы, связанной с нелинейной вязкостью.

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

**использован** комплекс численных методов моделирования задач термовибрационной конвекции;

**изложены** результаты решения задач влияния высокочастотных вибраций на структуру и устойчивость осредненных конвективных течений неоднородно нагретых ньютоновской и псевдопластической жидкостей в прямоугольной полости в скрещенных гравитационном и вибрационном полях;

**раскрыты** доминирующие механизмы генерации конвективных течений в различных диапазонах значений управляющих параметров;

**изучено** влияние высокочастотных вибраций на структуру и устойчивость осредненных конвективных течений неоднородно нагретых ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутых полостях;

**проведена модернизация** алгоритмов и численных методов исследования термовибрационной конвекции ньютоновской и псевдопластической жидкостей.

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

**разработана и внедрена** методика прямого численного моделирования конвективных течений линейно- и нелинейно- вязких сред в замкнутых полостях в широком диапазоне управляющих параметров;

**определены** области устойчивости стационарных конвективных течений и пороговые значения управляющих параметров, соответствующие сменам режимов течения; полученные результаты могут быть использованы в практических приложениях, при моделировании нефтегазовых процессов: добычи, хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов;

**создана** программа для численного исследования нелинейных режимов осредненной конвекции ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутых полостях в поле высокочастотных вибраций;

**представлены** рекомендации для использования результатов и описаны границы применимости математических моделей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ:** исследования проведены с применением современного вычислительного оборудования, что позволило обеспечить воспроизводимость и высокую точность полученных результатов;

**теория** построена на известных уравнениях термовибрационной конвекции для ньютоновских и нелинейно-вязких жидкостей;

**идея базируется** на анализе и обобщении имеющегося опыта исследований течений в ньютоновских и нелинейно-вязких жидкостях;

**использовано** сравнение результатов численных расчетов задачи с известными из литературы предельными случаями;

**установлено** качественное согласие результатов численного моделирования с экспериментальными данными, относящимися к исследованию эволюции конвективных течений в вибрационном поле;

**использованы** эффективные и проверенные численные методы, и современное вычислительное оборудование.

**Личный вклад соискателя состоит в** разработке вычислительного кода и получении всех численных результатов; постановка задач, обсуждение и анализ результатов осуществлены совместно с научным руководителем А.В. Перминовым и соавтором публикаций Т.П. Любимовой.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.**

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержатся решения ряда важных с точки зрения фундаментальной механики жидкости задач, которые расширяют знания в области гидродинамики и тепломассопереноса в линейно- и нелинейно- вязких жидкостях при воздействии на них высокочастотных вибраций в условиях нормальной, пониженной и микро- гравитации. Результаты, описывающие поведение нелинейно-вязких жидкостей в вибрационном поле применимы для изучения реологических свойств реальных материалов, могут использоваться для построения расчетных моделей машин и аппаратов перерабатывающей промышленности и создания способов управления технологическими процессами.

На заседании 21 ноября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Никулиной С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, участвовавших в заседании (в том числе 5 человек в удаленном интерактивном режиме), из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 0, воздержался – 0, не проголосовало – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., профессор,  
Райхер Юрий Львович

\_\_\_\_\_ / Райхер Ю.Л.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., доцент  
Зуев Андрей Леонидович



\_\_\_\_\_ / Зуев А.Л.

22 ноября 2024 г.

М.П.