

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 17.11.2022 № 106

О присуждении Шарифулину Вадиму Альбертовичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Конвекция в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры при заданном потоке тепла» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 15.09.2022, протокол № 96, 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** Шарифулин Вадим Альбертович 1980 г. рождения, в 2004 г. окончил ГОУ ВПО "Пермский государственный университет" по специальности «Физика». В 2007 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры прикладной физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". Диссертация выполнена в ИМСС УрО РАН – филиале ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук".

**Научный руководитель** – д.ф.-м.н., профессор, заведующая лабораторией вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН Любимова Татьяна Петровна.

**Официальные оппоненты:**

1. Бекежанова Виктория Бахытовна, доктор физико-математических наук (01.02.05), ведущий научный сотрудник, заведующая отделом дифференциальных уравнений механики обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН "Институт вычислительного моделирования СО РАН", г. Красноярск;
  2. Просвиряков Евгений Юрьевич, доктор физико-математических наук (01.02.05), профессор кафедры информационных технологий и систем управления ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина", г. Екатеринбург;
- дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук" (ИТ СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном заключении, составленным д.ф.-м.н., профессором Яворским Н.И., заведующим лабораторией моделирования ИТ СО РАН, и утвержденном директором ИТ СО РАН, д.ф.-м.н.,

академиком РАН Марковичем Д.М., указала, что диссертация «Конвекция в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры при заданном потоке тепла» представляет собой научно-квалификационную работу, выполненную на современном исследовательском уровне, в которой представлены новые результаты теретического исследования режимов термогравитационной конвекции жидкостей с инверсией плотности. Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Шарифулин Вадим Альбертович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Соискателем опубликовано 7 статей** в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Шарифулин В.А.** Конвективный факел от линейного источника тепла в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2011. № 6. С. 27-30. (Перевод: **Sharifulin V.** Heated vertical jet formed by a linear heat source in fluid with a power-law temperature dependence of the density // Fluid Dynamics. 2011. Vol. 46, № 6. P. 864-867).

*Найдено точное решение уравнений движения жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры в пограничном слое для ламинарного конвективного факела. Рассмотрен случай линейного источника тепла.*

2. **Шарифулин В.А.** Осесимметричный конвективный факел в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры // Теплофизика и аэромеханика. 2012. Т. 19. № 1. С. 125-127. (Перевод: **Sharifulin V.A.** Axisymmetric convective torch in fluid with power dependence of density on temperature // Thermophysics and Aeromechanics. 2012. Vol. 19, № 1. P. 163-165).

*Найдено точное решение уравнений пограничного слоя для ламинарного конвективного факела от точечного источника тепла в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры.*

3. Любимов Д.В., Любимова Т.П., **Шарифулин В.А.** Возникновение конвекции в горизонтальном слое жидкости с инверсией плотности в условиях заданного теплового потока на границах // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2012. № 4. С. 23-29. (Перевод: Lyubimov D.V., Lyubimova T.P., **Sharifulin V.A.** Onset of convection in a horizontal fluid layer in the presence of density inversion under given heat fluxes at its boundaries // Fluid Dynamics. 2012. Vol. 47, № 4. P. 448-453).

*Аналитически и численно изучено возникновение конвекции в горизонтальном слое жидкости с температурной инверсией плотности в условиях заданного теплового потока. Получена диаграмма устойчивости и исследован характер возмущений в линейном приближении.*

4. **Sharifulin V.A.**, Lyubimova T.P. Structure of critical perturbations in a horizontal layer of melted water with the prescribed heat flux at the boundaries // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 208. Art. id. № 012025.

*Исследуется аналитически и численно структура критических возмущений в горизонтальном слое жидкости с температурной инверсией плотности. Изучено влияние положения точки инверсии плотности на структуру критических возмущений.*

5. **Sharifulin V.A.**, Lyubimova T.P. Supercritical convection of water in an elongated cavity at a given vertical heat flux // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2021. Vol. 14, № 2. P. 186-194.

*Исследуются надкритические режимы конвекции воды при комнатной температуре в вытянутой горизонтальной полости, с отношением ширины к высоте 2:1, 3:1. Расчеты, проведенные конечно-разностным методом для значений числа Релея, превышающих критическое до тридцати раз, показали, что в обеих полостях реализуется одновихревое стационарное состояние.*

6. **Sharifulin V.A.**, Lyubimova T.P. A hysteresis of supercritical water convection in an open elongated cavity at a fixed vertical heat flux // Microgravity Science and Technology. 2021. Vol. 33. № 3. P. 1-9.

*Исследуются надкритические режимы конвекции воды при комнатной температуре в вытянутой горизонтальной полости, с отношением ширины к высоте 1:1, 4:1 и 5:1. Обнаружены и исследованы гистерезисные переходы, возникающие при плавном и скачкообразном изменении числа Грасгофа.*

7. **Шарифулин В.А.**, Любимова Т.П. Надкритические конвективные течения талой воды в открытой горизонтальной прямоугольной области с заданным вертикальным тепловым потоком // Вычислительная механика сплошных сред. 2021. Т. 14, №. 4. С. 472-484.

*Исследуется влияние интенсивности подогрева, выражаемой числом Грасгофа, на надкритические режимы проникающей тепловой конвекции талой воды в горизонтальной прямоугольной полости с аспектным отношением, равным двум.*

Публикации содержат в сумме 51 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 Бекежановой В.Б. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации; отмечены новизна, научная и практическая значимость и достоверность полученных результатов. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- вопрос по второй главе (стр. 45) о методе решения краевой задачи.
- вопрос по второй главе п. 2.1 о соответствии рассмотренных значениях числа Прандтля реальным жидкостям.
- Вопрос о том чему соответствуют сплошной линии на рисунках 4.6 (стр. 103), 4.8 (105), 4.10 (стр. 106) и 4.20 (стр. 126).
- Вопрос по четвертой главе причинах возникновения не симметричных режимов в пп. 4.1.1.
- ряд технических замечаний: по обозначениям, дублировании текста, о использовании английского языка в подписях на рисунках, неправильном указании числа глав диссертации, указано на то что имеется ряд других опечаток, синтаксических и пунктуационных ошибок.

2. Положительный отзыв официального оппонента Просвирякова Е.Ю. В отзыве отмечено, что, полученные результаты важны для понимания особенностей проникающей конвекции в областях, где затруднены или невозможны прямые натурные измерения (в

прудах, в озерах, в недрах планет и звезд, в технических устройствах и технологических процессах. Точные решения, полученные при проведении диссертационного исследования, могут быть использованы при проектировании технических устройств, использующих жидкости с температурной инверсией плотности. Полученные точные решения могут быть использованы при тестировании численных алгоритмов и для конструирования новой теории гидродинамической устойчивости неклассических несжимаемых и сжимаемых жидкостей.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- отмечено, что в диссертации и автореферате неправильно указано число глав;
- указано на избыточную нумерацию формул;
- вопрос о сходимости и шаге сетки;
- замечание о размере иллюстраций и об отсутствии стрелок на линиях тока.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБУН ИТ СО РАН. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, выполненную на современном исследовательском уровне, в которой представлены новые результаты теоретического исследования режимов термовибрационной конвекции жидкостей с инверсией плотности. Полученные результаты имеют теоретическое значение для описания процессов тепломассообмена в средах, в которых наблюдается инверсия плотности. Практическая значимость обусловлена существенным влиянием точки инверсии на режимы термовибрационной конвекции для природных и искусственных водоемов при определенных погодных условиях. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- ряд технических замечание: в формуле (1.14) с 18. ошибки, дублирование текста стр. 18, стр. 19, в формуле (2.65) стр. 55 пропущен знак производной, в формуле (3.26) ошибка и не определен использованный в ней оператор.
- вопрос об относительной точности расчета в расчетах методом Рунге-Кутты-Фельберга (стр. 84);
- вопрос по четвертой главе о том как были получены стационарные решения, о том какой метод использовался и каковы его параметры;
- вопрос о достаточности сетки 64 x 128 и тестовых расчетах в главе четыре п. 4.2;
- вопрос о возмущениях (и их симметрии) вводимых для получения нетривиальных численных решений;
- вопрос о том являются ли двумерные возмущения наиболее опасными.

**На автореферат поступило 7 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Королькова А.В. д.ф.-м.н., профессора кафедры прикладной математики, информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО "Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана" (Мытищинский филиал), г. Мытищи (1 замечание);
2. Положительный отзыв от Люшнина А.В., д.ф.-м.н., доцента, декана факультета информатики и электроники ФГБОУ ВО "Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет", г. Пермь (2 замечания);
3. Положительный отзыв от Палымского И.Б., д.ф.-м.н., профессора кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет геосистем и технологий", г.Новосибирск (2 замечания);

4. Положительный отзыв от Перминова А.В., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой общей физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь (3 замечания);
5. Положительный отзыв от Саранина В.А., д.ф.-м.н., доцента, профессора кафедры физики и дидактики физики ФГБОУ ВО "Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г.Короленко", г. Глазов (1 замечание);
6. Положительный отзыв от Шварца К.Г., к.ф.-м.н., доцента, профессора кафедры прикладной математики и информатики ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", г. Пермь (3 замечания);
7. Положительный отзыв от Рожкова А.Н., д.ф.-м.н., заведующего лабораторией механики сложных жидкостей; Федюшкина А.И., к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории механики сложных жидкостей ФГБУН "Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН", г. Москва (3 замечания).

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

- вопрос о жидкостях с показателем инверсии отличным от двух;
- вопрос об том почему не учтен эффект Марангони;
- вопрос о экспериментальных данных;
- вопрос об использовании термина «талая вода»;
- пожелание использовать более эффективные методы вычисления завихренности на границах;
- вопрос по третьей главе о равновесном распределении температуры и о том как оно входит в амплитудные уравнения;
- вопрос по третьей главе о том как определялись амплитуды горизонтальной скорости;
- вопрос об терминах «устойчивая стратифицированный слой» и «не устойчиво стратифицированный слой»;
- вопрос о применимости полученных результатов для подогреве слоя сверху;
- замечание о том что на стр.6 неправильно указано число глав диссертации;
- вопрос об особенностях разностной схемы п. 4.2;
- вопрос о диапазоне чисел Прандтля и влиянии мощности источников
- вопрос о показателе инверсии равном нулю.

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, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных исследований, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** ФГБУН "Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН", г. Новосибирск, является одним из ведущих научных центров по теории теплообмена и физической гидрогазодинамике, в институте активно ведутся

фундаментальные и прикладные исследования по тепломассопереносу в однофазных и дисперсных системах, гидродинамической устойчивости и турбулентности, вихревым течениям, теплофизическим основам создания новых материалов. Институт выпускает переводной журнал "Теплофизика и аэромеханика", включенный в международные базы WoS и Scopus. 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 научном семинаре лаборатории моделирования ИТ СО РАН (Протокол № 22-01 от 25.10.2022 г.) в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработаны** новые подходы к теоретическому исследованию конвекции жидкости со степенными зависимостью плотности от температуры при заданном потоке тепла;

**предложены** оригинальные подходы и методы аналитических и численных исследований, позволившие обнаружить и описать новые течения от локальных источников тепла и новые механизмы гидродинамической неустойчивости в горизонтальных в горизонтальном направлении полостях;

**доказана** необходимость дополнения методов исследования, традиционно используемых в теории тепловой конвекции для описания явлений и процессов в природных и технологических жидких системах со свободной границей и заданным тепловым потоком, новыми, более информативными методами;

**введены** и систематизированы новые типы неустойчивости и безразмерные критерии для описания конвективных течений.

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

**доказана** возможность обобщения ряда существующих теоретических моделей и положений и внесены предложения по их модификации, позволившие добиться согласия между результатами аналитических и численных исследований;

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

**использованы** современные аналитические и вычислительные методики как традиционно применяемые в теоретической гидродинамике, так и оригинальные, разработанные автором работы;

**изложены** физические соображения, объясняющие возникновение новых гидродинамических неустойчивостей и явлений;

**раскрыты** физические причины противоречий полученных результатов с результатами более ранних теоретических исследований и предложены корректные постановки краевых задач;

**изучены** условия возникновения, структура и физические механизмы гидродинамической неустойчивости тепловой конвекции воды в зависимости от ее характеристик и геометрии задачи;

**проведена модернизация** методики аналитического исследования конвекции от локальных источников тепла.

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

**разработаны и внедрены** новые методики получения структуры течения, распределения температуры от локальных источников тепла в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры, предсказания конвективной неустойчивости и гистерезисных перестроек надкритических режимов конвекции в горизонтальных вытянутых полостях при заданном однородном вертикальном тепловом потоке на границах;

**определены** области конвективной устойчивости течений в зависимости от геометрии задачи. Результаты могут быть использованы при анализе проникающей конвекции в водоемах, недрах планет и звезд, при проектировании технических устройств, использующих жидкости с температурной инверсией плотности. Полученные точные решения могут быть использованы при тестировании численных алгоритмов.

**создана** методика получения точных решений для течений генерируемых локальными источниками тепла в жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры, база данных численного исследования для планирования экспериментальных исследований в слоях и вытянутых полостях заполненных водой в условиях заданного теплового потока на границах ;

**представлены** методические рекомендации по планированию теоретических исследований в жидкостях со свободной границей и заданным тепловым потоком и раскрыты перспективы дальнейшей разработки темы исследований.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на основе исследования полученных в работе аналитических формул, решения линейных и нелинейных краевых задач и согласуется в предельных случаях с представленными в диссертации результатами других авторов;

**идея базируется** на обобщении результатов предыдущих исследований конвекции в жидкостях с локальными источниками тепла, свободной границей, заданным вертикальным потоком тепла в различных условиях;

**использовано** сравнение полученных в диссертации результатов с результатами известных теоретических исследований;

**установлено** качественное и количественное согласие полученных данных с известными результатами теоретических исследований в пересекающихся областях параметров;

**использованы** современные аналитические и численные методики получения решений нелинейных краевых задач гидродинамики, а также современные методы цифровой обработки и статистического анализа данных.

**Личный вклад соискателя состоит** в проведении всех аналитических и численных расчетов, написании всех вычислительных программ. Постановка задач, обсуждение и анализ результатов осуществлены совместно с научным руководителем Т.П. Любимовой и соавтором публикаций Д.В. Любимовым.

**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 содержится решение задач математического моделирования тепловой конвекции жидкости со степенной зависимостью плотности от температуры при параметрически варьируемом подогреве снизу локальным или распределенным источниками тепла, позволяющим предсказывать структуру конвективных течений и гистерезисные переходы между стационарными режимами.

На заседании 17 ноября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Шарифулину В.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

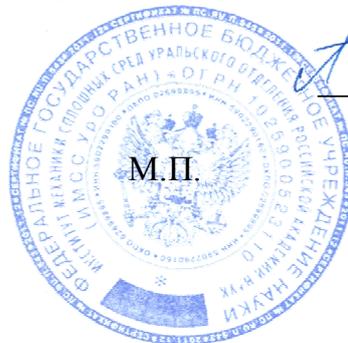
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человека, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – 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 ноября 2022 г.

М.П.