

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 № 107

О присуждении Загвозкину Тимофею Николаевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Неустойчивости и нелинейные режимы течения в гетерогенных средах при наличии внешнего потока» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 15.09.2022, протокол № 97, 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** Загвозкин Тимофей Николаевич 1984 г. рождения, в 2016 г. окончил ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по специальности «Физика». В 2021 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 младшим научным сотрудником лаборатории технологической гидродинамики ИМСС УрО РАН. 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. Кривилев Михаил Дмитриевич, доктор физико-математических наук (05.13.18), доцент, заведующий лабораторией физики конденсированных сред Института математики, информационных технологий и физики ФГБОУ ВО "Удмуртский государственный университет", г. Ижевск;
  2. Полежаев Денис Александрович, кандидат физико-математических наук (01.02.05), доцент кафедры физики и технологии ФГБОУ ВО "Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет", г. Пермь;
- дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского Российской академии наук" (ИПМех РАН), г. Москва, в своем положительном заключении, составленном к.ф.-м.н. Федюшкиным А.И., старшим научным сотрудником лаборатории механики сложных жидкостей ИПМех РАН, и утвержденном директором ИПМех РАН, д.ф.-м.н., чл.-корреспондентом РАН Якушем С.Е., указала, что диссертация представляет собой

завершенную научно-исследовательскую работу в области численного исследования динамики границ раздела многофазных жидких систем. Задачи, решаемые в работе, являются актуальными, обладают научной новизной и практической значимостью. Результаты диссертации докладывались на многочисленных конференциях и изложены в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Представленная диссертационная работа «Неустойчивости и нелинейные режимы течения в гетерогенных средах при наличии внешнего потока» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Загвозкин Тимофей Николаевич 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. **Zagvozhkin T.** Advective removal of localized convective structures in a porous medium // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2018. – V. 59, №. 7. – P. 85-91.

*Проведен линейный анализ устойчивости задачи о вымывании локализованных конвективных структур из области их возбуждения в горизонтальном слое пористой среды.*

2. **Zagvozhkin T., Vorobev A., Lyubimova T.** Kelvin-Helmholtz and Holmboe instabilities of a diffusive interface between miscible phases // Phys. Rev. E. – 2019. – V. 100. – Art. id. № 023103.

*Численно исследованы неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое при условии, что первоначально компоненты двухслойной системы не находятся в состоянии термодинамического равновесия.*

3. **Zagvozhkin T., Lyubimova T.** Numerical calculation of the process removal of localized convective structures in a layer of a porous medium // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 581. – Art. id. № 012021.

*Численно исследовано вымывание локализованных конвективных структур из области их возбуждения в горизонтальном слое пористой среды при наличии неоднородного по горизонтали вертикального теплового потока и постоянного прокачивания жидкости вдоль слоя.*

4. Vorobev A., **Zagvozhkin T., Lyubimova T.** Shapes of a rising miscible droplet // Physics of Fluids. – 2020. – V. 32. – Art. id. № 012112.

*Численно в рамках теории фазового поля исследована динамика всплытия капли в другой жидкости, смешивающейся с первой.*

Публикации содержат в сумме 37 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 Кривилева М.Д. В отзыве отмечено, что в диссертационной работе решено несколько актуальных задач механики жидкости и газа, которые относятся либо к гидродинамике многофазных сред, либо к течениям в осложненных условиях в пористой среде. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- замечание о необходимости сузить класс физических систем, для которых справедливы полученные результаты, исключив из описания бинарные смеси с различными вязкостями при формулировке научной новизны;
- замечание по поводу введения и рекомендация о необходимости обратить внимание на работы Кармы и Раппеля по диффузным границам;
- замечание о важности указания единиц измерения величин при переходе от размерной к безразмерной системе уравнений в разделе 1.1;
- замечание по поводу отсутствия обсуждения многомодовых возмущений и обоснованности использования периодических граничных условий в разделе 1.2.2;
- рекомендация об использовании первичных физических характеристик системы при исследовании сходимости по сетке в разделе 1.2.3;
- вопрос о том, насколько сильно изменятся карты устойчивости на рис.1.11 при решении задачи в полной трехмерной постановке;
- замечание о необходимости определения области применимости полученных решений при осесимметричной постановке задачи о всплытии капли;
- рекомендация определить диапазон значений параметра ответственного за поверхностное натяжение в выводах по разделу 1.3;
- замечание относительно перехода от двумерного уравнения к одномерному в главе 2.

2. Положительный отзыв официального оппонента Полежаева Д.А. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации, обоснованность и достоверность результатов и выводов, новизна, практическая и теоретическая значимость, ценность для научного сообщества и перспектива применения в технологических приложениях. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание об отсутствии описания параметров на стр. 18;
- вопрос об областях устойчивости на рис.1.11;
- замечание относительно отсутствия определения параметра характеризующего величину поверхностного натяжения в главе 1;
- замечание о выборе диапазона значений длины области возбуждения конвекции в главе 2;
- замечание о неточностях и опечатках в тексте диссертации.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБУН ИПМех РАН. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области численного исследования динамики границ раздела многофазных жидких систем. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение, так и существенную практическую значимость. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- замечание об отсутствии в обзоре литературы работы Brackbill J.U. и соавторов, касающейся численных методов;
- замечание об отсутствии описания параметров в главе 1;
- замечание об использовании общепринятых названий управляющих параметров в работе;
- замечание по первой главе о сравнении результатов полученных с использованием разных методов;

- замечание о консервативности численной конечно-разностной схемы и вкладе численной диффузии в результаты численного моделирования в первой главе;
- замечание об определении термина «вымывание» используемого во второй главе;
- замечание о пропущенной ссылке на граничные условия на стр.46.

**На автореферат поступило 8 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Демёхина Е.А. д.ф.-м.н., профессора кафедры математики и информатики ФГБОУ ВО "Финансовый университет при правительстве Российской Федерации" (Краснодарский филиал), г. Краснодар (1 замечание);
2. Положительный отзыв от Мажоровой О.С., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника отдела № 11 ФГБУН "Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН", г. Москва (1 замечание);
3. Положительный отзыв от Минакова А.В., д.ф.-м.н., директора Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет", г. Красноярск (2 замечания);
4. Положительный отзыв от Франц Е.А., к.ф.-м.н., младшего научного сотрудника лаборатории электро и гидродинамики микро- и наномасштабов ФГБОУ ВО "Финансовый университет при правительстве Российской Федерации", (Краснодарский филиал), г. Краснодар (1 замечание);
5. Положительный отзыв от Ханукаевой Д.Ю., д.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры высшей математики ФГАОУ ВО "Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина", г. Москва (2 замечания);
6. Положительный отзыв от Циберкина К.Б., к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры теоретической физики ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", г. Пермь (2 замечания);
7. Положительный отзыв от Цибулина В.Г., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой теоретической и компьютерной гидроаэродинамики ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", г. Ростов-на-Дону (1 замечание);
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, связанное с отсутствием полной математической постановки для некоторых задач;
- замечание об отсутствии сравнения результатов с экспериментальными данными в автореферате;
- вопрос о методе расчета граничных условий для завихренности;
- вопрос об оценке численной диффузии;
- замечание об использовании неудачных выражений «считалась достаточно большой», «при более высоких числах Грасгофа», без конкретного указания диапазона изменения параметров;
- замечание относительно подбора величины временного шага и детализации расчетной сетки;

- замечание о том, что в автореферате не подчёркивается явно существенность влияния смещения жидкостей на динамику развития неустойчивости сдвиговых течений;
- замечания об отсутствии описания некоторых параметров в тексте автореферата.

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 физики, механики жидкости и газа, 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 проблем механики им. А.Ю.Ишлинского Российской академии наук", г. Москва, является одним из ведущих научных центров в области физической гидродинамики, в институте активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по широкому спектру проблем физики и механики высокоэнергетических процессов, механики жидкостей и газов, механики деформируемого твердого тела. В Институте работает диссертационный совет, принимающий к защите диссертации в области механики по 3 специальностям. Институт является учредителем 4 научных журналов, в том числе журнала "Известия РАН. Механика жидкости и газа". 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 "Прикладная механика сплошных сред" лаборатории механики сложных жидкостей ИПМех РАН 20.10.2022 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработана** программа для численного исследования процессов диффузии и гидродинамических течений вблизи межфазных границ слаборастворимых жидкостей, с учетом поверхностного натяжения на границах раздела;

**предложено** объяснение механизма, приводящего к появлению области устойчивости основного состояния, соответствующего постоянному потоку жидкости вдоль границы раздела, и разделению областей неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое;

**доказана** необходимость учета неравновесного поверхностного натяжения на границах раздела при исследовании процессов в многофазных средах;

**введена** классификация режимов течений в пористом слое в условиях постоянного неоднородного теплового потока на границах и прокачки жидкости через слой.

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

**доказано**, что увеличение поверхностного натяжения в системах смешивающихся жидкостей, не находящихся в начальный момент времени в состоянии

термодинамического равновесия, приводит к появлению области устойчивости, отделяющей друг от друга области неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое.

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

**использован** комплекс методов численного моделирования гидродинамических процессов в многофазных средах;

**изложены** результаты решения задач устойчивости основного состояния, соответствующего постоянному потоку жидкости вдоль границы раздела, в гетерогенных средах при различной растворимости компонентов;

**раскрыты** недостатки предшествующих подходов к решению задач межфазной гидродинамики, в которых игнорируется поверхностное натяжение на границе смешиваемых жидкостей;

**изучено** влияние диффузии и поверхностного натяжения на характер протекания гидродинамических процессов в многофазных средах;

**проведена модернизация** алгоритмов численного исследования течений многофазных сред в рамках модели фазового поля.

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

**разработана и внедрена** методика прямого численного моделирования течений в системах смешивающихся жидкостей, с учетом поверхностного натяжения на границах раздела;

**определены** области устойчивости сдвиговых течений в системе, которая в начальном состоянии представляет собой два плоских слоя смешивающихся жидкостей, разделённых горизонтальной границей. Полученные результаты могут быть использованы в практических приложениях, где важную роль играют процессы смешивания в системах жидкость/жидкость или газ/жидкость;

**создана** программа для численного исследования нелинейных режимов конвекции в слое пористой среды, в условиях постоянного неоднородного теплового потока на границах и прокачки жидкости через слой;

**представлены** рекомендации для эффективного управления процессами смешения в системах жидкость/жидкость или газ/жидкость.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на известных приближениях и моделях гидродинамики;

**идея базируется** на анализе и обобщении имеющегося опыта исследования течений в системах жидкостей с межфазной границей;

**использовано** сравнение результатов численных расчетов задачи о развитии неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое с результатами линейного анализа в приближении замороженного профиля концентрации и обнаружено хорошее количественное согласие;

**установлено** качественное согласие результатов численного моделирования с экспериментальными данными, относящимися к всплыванию капли жидкости в жидкой среде с неравновесным межфазным натяжением;

**использованы** эффективные вычислительные методы и современное компьютерное оборудование.

**Личный вклад соискателя состоит в** разработке вычислительных программ, и получении основных численных результатов. Постановка задач, обсуждение и анализ результатов первой главы осуществлены совместно с научным руководителем Т.П. Любимовой и соавтором публикаций А.М. Воробьевым. Постановка задачи вымывания конвективных структур в слое пористой среды с заданным тепловым потоком, а также обсуждение и анализ результатов осуществлены совместно с научным руководителем 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 содержится решение задач математического моделирования гидродинамических процессов, протекающих в многофазных гетерогенных системах, в зависимости от различных параметров, определяющих степень смешения компонентов и динамику таких систем.

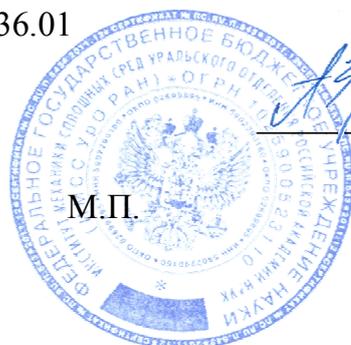
На заседании 17 ноября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Загвозкину Т.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человека, из них 8 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.