

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 08.12.2022 № 108

О присуждении Шмырову Андрею Викторовичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Динамика слоя поверхностно-активного вещества в жидких многофазных системах с конвективными течениями» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 06.10.2022, протокол № 100, 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** Шмыров Андрей Викторович 1975 г. рождения, в 1997 г. окончил ФГБОУ ВПО "Пермский государственный университет" по специальности «Физика». В 2000 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 научным сотрудником лаборатории гидродинамической устойчивости 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., доцент, заведующий лабораторией гидродинамической устойчивости ИМСС УрО РАН Мизев Алексей Иванович.

**Официальные оппоненты:**

1. Бердников Владимир Степанович, доктор физико-математических наук, с.н.с., главный научный сотрудник лаборатории интенсификации процессов теплообмена ФГБУН "Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН", г. Новосибирск;
2. Субботин Станислав Валерьевич, кандидат физико-математических наук, 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 гидродинамики им. М.А.Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук" (ИГиЛ СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном заключении, составленным д.ф.-м.н. Кузнецовым В.В., заведующим лабораторией прикладной и вычислительной гидродинамики ИГиЛ СО РАН; д.ф.-м.н., чл.-корреспондентом РАН Пухначевым В.В., руководителем семинара "Прикладная гидродинамика", и

утвержденном директором ИГиЛ СО РАН, д.ф.-м.н. Ерманюком Е.В., указала, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования гидродинамических течений в задачах со свободной поверхностью, содержащей поверхностно-активное вещество, под действием сил различной природы. Необходимость правильной постановки граничных условий в задачах со свободной поверхностью диктует важность исследований, в которых прослеживается связь между различными физико-химическими свойствами слоя ПАВ и гидродинамическими параметрами движущихся сред. Выполненные экспериментальные исследования вносят важный вклад в развитие гидродинамики многофазных сред. Представленная диссертационная работа «Динамика слоя поверхностно-активного вещества в жидких многофазных системах с конвективными течениями» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шмыров Андрей Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Соискателем опубликовано** 10 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Shmyrov A**, Mizev A, Demin V, Petukhov M, Bratsun D. On the extent of surface stagnation produced jointly by insoluble surfactant and thermocapillary flow // *Advances in colloid and interface science*. – 2018. – V. 255. – P. 10-17.

*Экспериментально исследована зависимость положения границы застойной зоны от приложенного перепада температуры.*

2. **Shmyrov A**, Mizev A, Shmyrova A, Mizeva I. Capillary wave method: An alternative approach to wave excitation and to wave profile reconstruction // *Physics of Fluids*. – 2019. – V. 31, № 1. – Art. id. № 012101.

*Представлена усовершенствованная экспериментальная методика, упрощающая применение метода капиллярных волн для исследования характеристик слоя ПАВ.*

3. **Shmyrov A.**, Mizev A. Surface diffusion in gaseous monolayers of an insoluble surfactant // *Langmuir*. – 2019. – V. 35, № 44. – P. 14180-14187.

*Экспериментально измерена величина коэффициента поверхностной диффузии с помощью нового динамического метода, основанного на измерении скорости течения в слое ПАВ.*

4. **Shmyrov A**, Mizev A, Demin V, Petukhov M, Bratsun D. Phase transitions on partially contaminated surface under the influence of thermocapillary flow // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2019. – V. 877. – P. 495-533.

*Экспериментально исследована зависимость положения границы застойной зоны от приложенного перепада температуры для различных концентраций олеиновой кислоты.*

5. Mizev A., **Shmyrov A.**, Shmyrova A. On the shear-driven surfactant layer instability // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2022. – V. 939. – Art. id. № 24.

*Экспериментально исследована структура поверхностного течения от осесимметричного источника в присутствии слоя ПАВ. Продемонстрировано, что для*

описания всех возможных конвективных режимов достаточно 2 параметров подобия.

6. **Shmyrov A.** Thermo-capillary flow in a Hele-Shaw cell as a tool for research of the dynamics of insoluble surfactant monolayer // EPJ Web of Conferences. V. 213. – EDP Sciences. 2019. – Art. id. № 02073.

*Предложена новая экспериментальная методика определения положения застойной точки по данным термографической съёмки межфазной поверхности.*

7. Shmyrova A., **Shmyrov A.** Instability of a homogeneous flow from a lumped source in the presence of special boundary conditions on a free surface // EPJ Web of Conferences. V. 213. – EDP Sciences. 2019. – Art. id. № 02074.

*Представлены новые экспериментальные данные о структуре течения в слое ПАВ и под ним для случая осесимметричного источника течения.*

8. Shmyrova A, **Shmyrov A**, Mizeva I., Mizev A. Registration of high-frequency waves on the surface by the interference methods // EPJ Web of Conferences. V. 213. 2019. – Art. id. № 02075.

*При помощи ранее предложенной авторами методике произведены измерения физико-химических параметров слоя олеиновой кислоты.*

9. Шмырова А.И., **Шмыров А.** Механизмы формирования вихревых структур на границе раздела жидкость-газ в присутствии адсорбционного слоя // Вестник Пермского университета. Физика. – 2020. – № 3. – С. 31-38.

*Экспериментально исследована структура конвективного течения на межфазной поверхности, покрытой слоем ПАВ от осесимметричного источника тепла.*

10. Mizev A., **Shmyrov A.** Studying the surfactant dynamics at non-isothermal liquid surface with thermography // IOP Journal of Physics: Conference Series. – V. 2127. – 2021. – Art. id. № 012003.

*Предложена новая экспериментальная методика определения положения застойной точки и измерения поверхностного давления по данным термографической съёмки межфазной поверхности для двух случаев. Первый из них лучше подходит для мониторинга чистоты поверхности, а второй для исследования параметров слоя ПАВ.*

Публикации содержат в сумме 123 страницы 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 Бердникова В.С. 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:

- замечание о некорректности интерпретации работ по задаче Релея-Бенара приведённых в обзоре;
- вопрос по второй главе относительно влияния дрейфа средней температуры в конвективной ячейке на характеристики слоя ПАВ;
- вопрос о влиянии глубины слоя жидкости на характер и параметры наблюдаемых в

эксперименте конвективных структур;

- замечание об отсутствии в работе данных о методологии тепловизионных измерений;
- замечание о некорректности некоторых выражений встречающихся в тексте диссертации;
- замечание о противоречиях в интерпретации полученных результатов.

2. Положительный отзыв официального оппонента Субботина С.В. В отзыве отмечено, что работа выполнена на очень высоком научном уровне и написана грамотным языком, все описанные результаты хорошо проанализированы, проделанная работа является подспорьем для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание относительно некоторой путаницы в обозначении ряда величин, которые по разному обозначаются в разных главах работы;
- вопрос о применимости приближения Хеле-Шоу во второй главе диссертации;
- замечание относительно встречающихся в работе опечатках;
- вопрос о воспроизводимости полученных данных и доверительных интервалах;
- пожелание о пояснении устройства лотка Ленгмюра и методики пластинки Вильгельми;
- вопрос о соотносимости левой и правой половин рисунка 3.6. а.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБУН ИГиЛ СО РАН. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования гидродинамических течений в задачах со свободной поверхностью, содержащей поверхностно-активное вещество под действием сил различной природы. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение, так и существенную практическую значимость. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- пожелание об отметке на графике, приведённом на рисунке 2.5 точки, соответствующей смене участков кусочно-заданной функции (2.4);
- вопрос о соответствии формулы (2.6) и экспериментальных данных, приведённых на рисунке 2.10;

**На автореферат поступило 5 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Демина В.А. д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой теоретической физики; Петухова М.И., к.ф.-м.н., старшего преподавателя кафедры теоретической физики, ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", г. Пермь (3 замечания);
2. Положительный отзыв от Ингеля Л.Х., д.ф.-м.н., доцента, ведущего научного сотрудника Института экспериментальной метеорологии ФГБУ НПО «Тайфун», г. Обнинск (1 замечание);
3. Положительный отзыв от Носкова Б.А., д.х.н., профессора кафедры коллоидной химии Института химии ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет", г. Санкт-Петербург (2 замечания);
4. Положительный отзыв от Уварова А.В., д.ф.-м.н., профессора кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества; Винниченко Н.А., к.ф.-м.н., доцента

кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества, ФГБОУ ВО "Московский государственный национальный им. М.В.Ломоносова", г. Москва (2 замечания);

5. Положительный отзыв от Федорца А.А., д.т.н., заведующего лабораторией микрогидродинамических технологий ФГАОУ ВО "Тюменский государственный университет", г. Тюмень (2 замечания).

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

- замечание, связанное с отсутствием в автореферате формулы для введенного нового параметра;
- замечание о неудачной подписи к рисунку 3.7а;
- замечание о некорректности методики определения границы застойной зоны в нестационарном случае;
- замечание о неудачности выражения «полезная составляющая сигнала»;
- вопрос о возможности получения связи поверхностной диффузии и скорости на поверхности для кусочно-линейного уравнения состояния;
- пожелание о дополнении исследований приведенных в третьей главе численным моделированием или аналитическим анализом;
- замечание о пропуске в автореферате некоторых важных пояснений и определений;
- вопрос о характерной глубине прогреваемого излучением слоя жидкости во второй главе;
- замечание о недостатке модели Буссинеска-Скривена, используемой для описания динамики слоя ПАВ;
- пожелание об использовании в дальнейших исследованиях более широкого круга ПАВ.

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 межфазной гидродинамики и гидродинамики многофазных сред, имеют большое число публикации с результатами 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 гидродинамики им. М.А.Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук", г. Новосибирск, является одним из ведущих научных центров в области физической гидродинамики. Основные направления научной деятельности Института: математические проблемы механики сплошных сред; физика и механика высокоэнергетических процессов; механика жидкостей и газов; механика деформируемого твердого тела. По данным направлениям Институт проводит фундаментальные исследования и участвует в разработке научных основ современной

техники и технологии. Институт выпускает печатные издания: сборник научных трудов "Динамика сплошной среды" и два переводных журнала "Прикладная механика и техническая физика" и "Физика горения и взрыва", включенные 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 ИГиЛ СО РАН "Прикладная гидродинамика", протокол № 25 от 19.10.2022 г., в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработана** новая экспериментальная методика определения положения границы между поверхностями чистой жидкости и покрытой слоем поверхностно-активного вещества (ПАВ), а также новая экспериментальная методика измерения величины коэффициента поверхностной диффузии в газообразных слоях ПАВ;

**предложено** физическое объяснение порогового возникновения вихревых структур на межфазной поверхности, содержащей слой ПАВ, заключающийся в потере устойчивости механического равновесия слоя ПАВ под действием вязких касательных напряжений со стороны течения в объеме;

**доказано** влияние сдвиговой поверхностной вязкости слоя ПАВ на развитие вихревых структур на межфазной поверхности, покрытой слоем ПАВ;

**введён** новый безразмерный параметр подобия и получена оценка его критического значения, при котором развивается неустойчивость в слое ПАВ;

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

**доказана** необходимость учёта в математических моделях, помимо поверхностного натяжения, реологических свойств слоя ПАВ для адекватного описания конвективных течений в системах жидкостей с межфазными поверхностями, содержащими слой ПАВ;

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

**использован** комплекс существующих в физической химии поверхности экспериментальных методик подготовки межфазной поверхности и манипуляции слоями ПАВ;

**изложены** доказательства возможности описания всего разнообразия наблюдаемых конвективных режимов на межфазной поверхности, содержащей ПАВ, при помощи двух безразмерных параметров: параметра упругости и поверхностного числа Релея;

**раскрыты** недостатки существующей теоретической модели, описывающей взаимодействие слоя ПАВ с термокапиллярным течением, в которой не учитывается вклад конвективного теплопереноса вдоль межфазной поверхности;

**изучена** связь сдвиговой поверхностной вязкости слоя ПАВ с условиями возникновения вихревых конвективных структур на межфазной поверхности;

**проведена модернизация** метода капиллярных волн для исследования динамических физико-химических характеристик слоя ПАВ.

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

**разработана и внедрена** методика измерения коэффициента поверхностной диффузии в газообразных слоях ПАВ на межфазной поверхности в условиях динамического равновесия встречных капиллярных эффектов;

**определены** области безразмерных параметров задачи, определяющих сжатие слоя ПАВ и его устойчивость, что позволяет прогнозировать возникновение и структуру конвективного течения в различных задачах гидродинамики многофазных сред;

**создана** обширная база экспериментальных данных для верификации существующих теоретических моделей и численных схем;

**представлены** методические рекомендации по планированию экспериментов и интерпретации результатов в системах жидкостей с межфазной границей, содержащей ПАВ, и раскрыты перспективы дальнейшей разработки темы исследований.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

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

**идея базируется** как на обобщении большого объёма данных, полученных в исследовании, так и на сравнении полученных результатов с теоретическими и экспериментальными работами других исследователей;

**использовано** сопоставление полученных в диссертации результатов с результатами предыдущих экспериментальных и теоретических исследований для оценки применимости использованных экспериментальных методик и достоверности измерительных данных;

**установлено** количественное согласие измеренной величины коэффициента поверхностной диффузии с аналитическими предсказаниями, полученными ранее в теоретических исследованиях;

**использованы** общепринятые методики создания и контроля слоев ПАВ на межфазной поверхности, современные экспериментальные методики визуализации и измерения характеристик полей скорости и температуры, а также современные методы цифровой обработки и статистического анализа данных.

**Личный вклад соискателя состоит** в участии в постановке задач, разработке и создании экспериментальных установок, описанных в главе 2 и в приложении, а также изготовлении различных источников течения, описанных в главе 3. Большинство экспериментальных результатов (кроме данных, относящихся к источнику М1 в главе 3) получены автором лично. Автор выполнил расчеты положения границы слоя ПАВ. Также автор предложил физический механизм неустойчивости, приводящей к развитию многовихревой структуры в слое ПАВ и соответствующий безразмерный параметр.

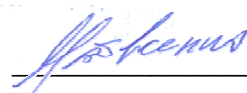
**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

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 задачи о динамике слоя ПАВ под действием однонаправленного или осесимметричного течения жидкости. Учёт новых полученных в работе данных требует пересмотра ряда полученных ранее качественных и количественных результатов теоретических исследований в области гидродинамики многофазных сред. Разработанные в ходе решения поставленной задачи экспериментальные методики могут оказаться полезными для мониторинга состояния межфазных поверхностей как в природе так и в широком ряде технологических процессов.


На заседании 08 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Шмырову А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 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 – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.т.н., профессор, академик РАН  
Матвеевко Валерий Павлович

 / Матвеевко В.П.

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

 / Зуев А.Л.

09 декабря 2022 г.

