ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.12.2016 № 143

О присуждении *Шмыровой Анастасии Ивановне*, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Взаимодействие конвективных течений с адсорбированными пленками поверхностно-активных веществ» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 13.10.2016, протокол № 133, диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Шмырова Анастасия Ивановна 1986 года рождения, в 2010 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образовании «Пермский государственный университет» (ГОУ ВПО «ПГУ») по направлению «Физика», специализация «Физика конденсированного состояния вещества». В 2014 г. окончила аспирантуру очной формы обучения в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории гидродинамической устойчивости ИМСС УрО РАН. Диссертация выполнена в лаборатории гидродинамической устойчивости ИМСС УрО РАН.

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Мизёв Алексей Иванович, старший научный сотрудник лаборатории гидродинамической устойчивости ИМСС УрО РАН.

Официальные оппоненты:

1. Федорец Александр Анатольевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией микрогидродинамических технологий ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (Тюмень);
2. Иванова Алевтина Алексеевна, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории вибрационной гидромеханики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет» (Пермь);

дали положительные отзывы на диссертацию

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН», г. Новосибирск, в своем положительном заключении, составленным Ерманюком Евгением Валерьевичем, д.ф.-м.н., заведующим лабораторией экспериментальной прикладной гидродинамики; Кузнецовым Владимиром Васильевичем, д.ф.-м.н., заведующим лабораторией

прикладной и вычислительной гидродинамики; Пухначевым Владиславом Васильевичем, д.ф.-м.н., чл.-корреспондентом РАН, руководителем семинара «Прикладная гидродинамика», главным научным сотрудником лаборатории «Прикладной и вычислительной гидродинамики» и утвержденном директором ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН», д.ф.-м.н. С.В. Головниным, указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решены актуальные задачи по экспериментальному исследованию устойчивости концентрационно-капиллярного течения в конвективных системах со свободной границей раздела, содержащей адсорбированные слои поверхностно-активных веществ. Полученные результаты имеют как практическое значение, так и фундаментальную значимость, а также высокую степень новизны и достоверности. Представленная диссертационная работа «Взаимодействие конвективных течений с адсорбированными пленками поверхностно-активных веществ» удовлетворяет критериям Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шмырова Анастасия Ивановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискателем опубликовано 40 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, индексированы в базе Web of Science и Scopus, получен 1 патент на изобретение, 17 статей в трудах конференций различного уровня и сборниках научных статей, 20 тезисов докладов конференций:

1. Мизев А.И., Брацун Д.А., Шмырова А.И. Влияние конвекции на формирование адсорбированной плёнки ПАВ при динамическом изменении площади поверхности раствора // Вычислительная механика сплошных сред. – 2016. – Т. 9. – №3. – С. 345-357.
2. Трофименко А.И., Мизев А.И. Влияние пленки нерастворимого сурфактанта на устойчивость концентрационного течения Марангони // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2014. – № 1. – С. 32–44.
3. A. Mizev, A. Trofimenko, D. Schwabe, A. Viviani Instability of Marangoni flow in the presence of an insoluble surfactant // The European Physical Journal Special Topics (IMA6 Interfacial Fluid Dynamics), Mach I. – 2013. – V. 219. – P. 89–98.
4. Мизёв А.И., Пеленёва И.М., Трофименко А.И. Патент на изобретение № 2500347 от 10.12.2013 «Способ оценки состояния легочного сурфактанта».

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

1. Положительный отзыв официального оппонента Федорца Александра Анатольевича. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, основные научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- Отсутствует раздел «Список сокращений и обозначений», что осложняет работу с текстом диссертации, объем которого превышает 200 страниц.
- Не вполне оправдано столь широкое использование термина «сурфактант» в качестве синонима «ПАВ».
- Имеются неточности. Например, на стр. 75 утверждается: «…образование «винных

слез» на стенках бокала, которые впервые были обнаружены в 1855 году Дж. Томсоном…». Известный факт, что описание «слез крепкого вина» встречается еще в библейских текстах.

- В исследованиях с барьерной системой Ленгмюра не рассматривается механизм неконтролируемого загрязнения жидкости попадающими в нее из окружающего воздуха аэрозольными микрочастицами. В экспериментах, относящихся к третьей главе, проблема несколько сглаживается, поскольку используется покровное стекло. Во второй же главе, где слой полностью открыт, а длительность эксперимента может измеряться часами (см. рис. 1.16*а*), именно с этим неконтролируемым механизмом накопления ПАВ в жидкости могут быть связаны проблемы с воспроизводимостью измерений поверхностного натяжения (рис. 1.13*в,г*).
- При массовом расходе закачиваемого в кювету спиртового раствора на уровне $3.6 \cdot 10^{-2}$ *г/с* (стр. 118) по диаметру кюветы несложно оценить, что за 100 *с* толщина слоя должна увеличиться примерно на 1 *мм*. Это существенная величина, поскольку начальное заглубление острия иглы, из которой вытекает раствор ≈ 60 *мкм*. В работе нет данных о длительности закачки раствора. Если время исчислялось десятками секунд, то как учитывалось влияние изменения толщины слоя на исследуемые конвективные течения?
- Из работы не ясно, чем оправдано введение термина «азимутальное волновое число k_φ». За таким замысловатым названием фактически скрывается очень простая характеристика картины течения – количество единовременно наблюдаемых вихрей. Почему «… k_φ, равного половине числа вихрей…» (стр. 126), а не четверти, например?
- Если судить по представленным в работе трековым снимкам, метод PIV мог дать очень ценные количественные данные о скорости течений. Рассматривалась ли возможность применения этой современной технологии и по каким причинам ее не использовали в диссертационном исследовании?

2. Положительный отзыв официального оппонента Ивановой Алевтины Алексеевны. В отзыве отмечено, что диссертация содержит богатый новый экспериментальный материал, способствующий пониманию сложных гидродинамических процессов, протекающих на границе раздела, содержащей примеси. Оппонент отмечает следующие замечания:

- Представление данных вызывает вопросы. Число значащих цифр в значениях экспериментальных величин изменяется непонятным образом. Так, на рис. 1.10 указываются значения концентрация примеси в одной серии экспериментов как с одной, так и с четырьмя значащими цифрами. Не ясно, как достигалась такая высокая точность и чем объясняется такое изменение точности от опыта к опыту.
- Использование различных знаков (точки и запятой) в десятичных дробях, встречающееся даже в одном предложении (см. подпись к рис. 2.5) не способствуют пониманию.
- В тексте диссертации встречаются описки, опечатки и стилистические ошибки (так, на с.134: «Сразу после включения источника поверхностное натяжение уменьшается, повторяя в целом графики зависимости r и k_φ от времени»). Что касается знаков препинания, то некоторые из них в тексте живут своей жизнью, даже точки.
- Особенно удручают графики, которые выполнены в разных стилях: открытые и закрытые, с метками наружу и вовнутрь, с произвольной, меняющейся от одного

рисунка к другому, толщиной осевых и основных линий, с очень крупными заголовками по осям и едва заметными обозначениями кривых (см. с. 66 и 67; с. 150 и 151).

- Критическое отношение к построению предложений позволило бы значительно сократить объем диссертации. Огромный список литературы (329 наименований) включает ряд ссылок на работы, которые, судя по оформлению, автор не видел (например, № 77-82, 109, 113...). К сожалению, этот список может быть продолжен.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования устойчивости концентрационно-капиллярного течения в конвективных системах со свободной границей раздела, содержащей адсорбированные слои поверхностно-активных веществ, а также в областях смежных с данной тематикой. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение, так и существенную практическую значимость. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- Ссылки 124 и 128 представляют одну и ту же работу. То же самое – работы 54 и 85 (85 другое издание работы 54). Вероятно, есть еще подобные неточности. Их можно было бы легко избежать, расположив список цитируемой литературы в алфавитном порядке.
- На стр. 141-143 приведено объяснение появления в формуле (2.4) члена τ, задающего вязкое трение в объеме жидкости. В качестве модели течения здесь берется плоскопараллельное течение Пуазейля, а выводы применяются к радиальному течению. Представляется, что было бы целесообразно провести аналогичные построения для случая осесимметрических течений вязкой жидкости.
- Ссылка на патент в автореферате указана следующим образом: Патент на изобретение №2500347 от 10.12.2013 «Способ оценки состояния легочного сурфактанта». В ссылке отсутствуют имена авторов патента.
- На стр. 84-90 приводится обзор работ о влиянии пленок сурфактанта на скорость всплытия пузырьков. Можно отметить, что даже в случае твердых сферических тел карта режимов движения весьма сложна. Такая карта режимов приведена в работе Horowitz & Williamson (J. Fluid Mech., 2010, V. 651, P. 251-294). Где показано, что при числах рейнольдса более 260 для твердых всплывающих сфер может наблюдаться зигзагообразный режим движения, причем переход к такому режиму зависит от отношения массы сферы к массе вытесненной ею жидкости, а также от остаточного уровня возмущений в системе после проведения предыдущих опытов.
- На стр. 85 имеется фраза о численном эксперименте [187], проведенном группой исследователей во главе с В. Цейнот». Речь идет о публикации Cuenot B., Magnaudet & Spennato (J. Fluid Mech., 1997, Vol. 339, P. 25-53). Кто был во главе группы – вопрос спорный. Cuenot выполнила эту работу во время полугодового пост-дока в 1995 году, основные ее работы – в области численных расчетов процессов горения и детонации, где она является крупным специалистом. Её соавтор Magnaudet – эксперт в области пузырьковых течений, автор обзора на тему пузырьковых течений в Annual Review of Fluid Mechanics, один из редакторов Journal of Fluid Mechanics.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1. Положительный отзыв от Гончаровой О.Н., д.ф.-м.н., главного научного

сотрудник лаборатории интенсификации процессов теплообмена, ФГБУН Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск;

2. Положительный отзыв от Ивановой Н.А., к.ф.-м.н., доцента, зав. научно-исследовательской лабораторией фотоники и микрофлюидики, ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, г. Тюмень;
3. Положительный отзыв от Соболевой Е.Б., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории механики сложных жидкостей, ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва;
4. Положительный отзыв от Рыжкова И.И., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника отдела дифференциальных уравнений механики, ФГБУН Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск;
5. Положительный отзыв от Кабова О.А., д.ф.-м.н., зав. лабораторией интенсификации процессов теплообмена, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- В тексте автореферата автор использует два термина ПАВ и сурфактант. Иногда оба встречаются в одном предложении. Возникает ощущение, что это разные вещества. Вообще, это тоже поверхностно-активное вещество (ПАВ). Термин является калькой с английского Surface Active Agent. Может быть стоило использовать в тексте работы термин ПАВ?
- На стр.7 приведены значения поверхностной концентрации насыщенного монослоя для двух наиболее отличительных друг от друга ПАВ. Надо заметить, что разница между этими значениями невелика и может оказаться в пределах погрешности измерений. Было бы правильным указать погрешность измерений.
- На стр. 10 говорится о волновом числе вихревой структуры, но пояснение как это число определяется обнаружено только на стр. 13.
- Судя по автореферату в работе, в качестве источника течения, был использован слабо концентрированный (10%) водный раствор этилового спирта. В связи с этим возникает вопрос, влияет ли «мощность» (концентрация спирта) источника, которая находится в знаменателе модифицированного параметра упругости, на характер конвективного движения, время появления конвективных вихрей и т.д.?
- На стр. 14 отмечено, что результаты схожих по постановке экспериментальных работ других авторов обсуждаются в рамках предложенной физической модели конвективного течения с адсорбированными пленками ПАВ. Вообще, для обоснования достоверности предложенной модели, было бы разумным привести в автореферате анализ результатов работ других авторов в виде графика или таблицы.
- В тексте к рис. 7 сказано, что «... после включения источника размер радиальной зоны и количество вихрей достигали максимума, после чего медленно (в течение 6-8 минут) убывали до достижения определенных значений». Т.е, рис. 7,*а* должен показывать медленное убывание радиуса радиальной зоны r, однако, для лаурата калия (маркеры *2*) не видно существенного изменения среднего радиуса. Возможно, радиус меняется (в пределах 3-5 %), но по данным рис. 7,*а* сделать однозначный вывод не удается. Вероятно, следовало бы провести математическую обработку экспериментальных данных (например, построить линейную зависимость $r(t)$

методом наименьших квадратов) бы подтвердить убывание r со временем t.

- Из содержания автореферата не до конца понятно в каких условиях проводились эксперименты. Не указана температура жидкости и воздуха. Контролировалась ли температура экспериментальной кюветы?
- Каким образом формировался слой молекул нерастворимого сурфактанта на межфазной поверхности? Данная процедура не описана в автореферате.
- Не указан материал светорассеивающих частиц нейтральной плавучести. При добавлении в воду раствора этилового спирта, может образовываться достаточно агрессивная среда и растворять некоторые материалы. Проверялась ли химическая совместимость светорассеивающих частиц с этиловым спиртом.
- В списке – основные публикации по теме диссертации не указаны авторы патента.
- При описании содержания главы 2 автор проводит анализ условий, которые выполняются либо должны быть заданы на границе раздела. Видимо, анализ граничных условий основан и на теоретических исследованиях течений с использованием различных постановок задач. В этом случае надо указать на проведенное теоретическое исследование и последующее сравнение с экспериментами.

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 официальных 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 различных гидродинамических систем; 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 СО РАН, г. Новосибирск хорошо известна своими достижениями в области физической гидродинамики, в институте активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования, опираясь на достижения физики, механики, гидродинамики и прикладной математики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

создана экспериментальная установка, позволяющая проводить очистку поверхности и исследовать концентрационно-капиллярное течение от сосредоточенного источника поверхностно-активных веществ (ПАВ) и **разработаны** методики определения константы Ленгмюра-Шишковского с использованием барьерной системы Ленгмюра и сбора легочного ПАВ, позволяющие проводить экспресс-оценку состояния сурфактантной системы легких человека;

предложена гипотеза о механизме формирования вихревой структуры течения на поверхности жидкости, содержащей адсорбированные слои ПАВ;

введен безразмерный модифицированный параметр упругости, позволивший представить полученные в работе результаты, для всех выбранных для исследования веществ, в виде единых зависимостей;

доказано, что в экспериментах с растворимым сурфактантом основную роль в массопереносе ПАВ между объемной и поверхностной фазами играет динамическая адсорбция, обусловленная непосредственным конвективным переносом молекул в приповерхностном слое.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

в работе **создана** экспериментальная база данных систематического исследования взаимодействия конвективных течений с адсорбированными пленками сурфактантов различной растворимости;

предложена модель физического механизма потери устойчивости радиального течения при внесении в систему сурфактанта; введен безразмерный параметр, позволяющий единым образом описать наблюдаемое явление;

показана необходимость задания комбинированного граничного условия для различных компонент скорости на свободной поверхности: условие прилипания для потенциальной составляющей скорости и условие проскальзывания для вихревой составляющей;

доказано, что в массопереносе вещества между объемной и поверхностной фазами в задаче с растворимым сурфактантом основную роль играет динамическая адсорбция на поверхности раствора.

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

использованы различные методы тензиометрии, позволяющие исследовать динамику формирования поверхностной фазы в широких временных пределах; оптический метод, основанный на использовании светорассеивающих частиц, а также компьютерные методы обработки видеоизображений;

изложены новые результаты, подтверждающие эффективность применения предложенного метода определения константы Ленгмюра-Шишковского и нового метода сбора легочного сурфактанта;

раскрыты особенности формирования вихревых структур в гидродинамических системах с межфазной поверхностью, содержащей адсорбированные слои ПАВ;

изучено влияние сурфактанта на время формирования и структуру поверхностного течения, а также изменение поверхностно-активных свойств легочного сурфактанта у больных туберкулезом легких;

проведена модернизация, существующих представлений об адсорбционных процессах и механизме неустойчивости течений в конвективных задачах со свободной поверхностью.

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

разработана новая экспериментальная методика определения константы Ленгмюра-Шишковского и новый неинвазивный метод сбора легочной жидкости, содержащей легочный сурфактант;

определены пределы и перспективы практического использования разработанных

методов на практике;

созданы экспериментальная установка, позволяющая проводить очистку поверхности и формировать на ней концентрационно-капиллярные течения от сосредоточенного источника ПАВ и установка для захвата аэрозоля легочной жидкости при барботировании выдыхаемого воздуха;

представлены рекомендации по постановке граничных условий для скорости в гидродинамических задачах со свободными границами, содержащими адсорбированные пленки ПАВ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные результаты получены на оборудовании, обеспечивающем воспроизводимость экспериментальных результатов;

теория основана на известных положениях физико-химической гидродинамики;

идея базируется на обобщении полученных результатов о формировании вихревых течений на поверхности жидкости с адсорбированным ПАВ;

использованы современные методы регистрации и обработки экспериментальных данных;

установлено качественное и количественное соответствие полученных результатов теоретических и экспериментальных данных из независимых источников.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментов,–обработке экспериментальных данных, обсуждении полученных результатов и подготовке публикаций; результаты совместных работ представлены в диссертации с согласия соавторов.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований, обладающего понятной внутренней логикой, концептуальностью и взаимосвязью основных выводов.

На заседании 15 декабря 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Шмыровой А.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человека, из них 7 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 – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. председателя
диссертационного совета _____ / Роговой Анатолий Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ / Зуев Андрей Леонидович

15.12.2016 г. М.П.