

«УТВЕРЖДАЮ»

ФАНО РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ
им. М.А. Лаврентьева

СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Проспект Академика Лаврентьева, 15, Новосибирск, 630090
Для телеграмм: Новосибирск-90, Гидродинамика
Тел./факс: (8-383) 333-16-12. E-mail: igil@hydro.nsc.ru

11.11.2016, № 15320 – 01/2171

На № _____



Директор федерального
государственного бюджетного
учреждения науки «Институт
гидродинамики имени
М.А. Лаврентьева Сибирского
отделения Российской академии
наук»

д.ф.-м.н. С.В. Головин
«11» ноября 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения
Российской академии наук»

о диссертационной работе Шмыровой Анастасии Ивановны «Взаимодействие
конвективных течений с адсорбированными пленками поверхностно-активных веществ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа Шмыровой А.И. посвящена экспериментальному
исследованию структуры и эволюции концентрационно-капиллярного течения от
сосредоточенного источника в конвективных системах со свободной границей раздела,
содержащей адсорбированные слои поверхностно-активных веществ известной
концентрации, а также поиску и разработке нового неинвазивного метода сбора легочного
сурфактента для проведения экспресс-оценки состояния сурфактантной системы легких
человека.

Отличительной особенностью гидродинамических систем со свободной или
межфазной границей раздела является наличие дополнительных механизмов генерации
конвективного течения на поверхности, связанных с термо- и концентрационно-
капиллярными эффектами. Присутствие на границе раздела адсорбированных пленок
ПАВ в таких системах может существенно повлиять как на интенсивность, так и на
структуре поверхностного течения. Отсутствие единого подхода в описании
поверхностной фазы, а также недостаточное количество информации о поверхностных
характеристиках сурфактантов, зачастую, приводят к противоречивости результатов.
Существующие работы, как правило, несистемны, так как задачи такого класса лежат на
стыке физической химии и межфазной гидродинамики. Проведение экспериментальных
исследований требует изучения основных поверхностно-активных свойств всех
жидкостей, используемых в работе, а также обеспечения высокой степени чистоты как
самих жидкостей, так и экспериментальной установки. Известно также, что
биологические жидкости человека включают в себя множество ПАВ с различными
свойствами, а организм содержит границы раздела больших площадей. Физико-
химические и биохимические процессы, протекающие на этих границах чрезвычайно
важны для жизнедеятельности человека. Качественное и/или количественное изменение
состава физиологических жидкостей может свидетельствовать о различного рода
заболеваниях. Основные научные группы, занимающиеся исследованиями в области

тензиометрии биологических жидкостей с целью разработки новых диагностических методик, на сегодняшний день не смогли решить проблему неинвазивного получения биологического материала, содержащего легочный сурфактант в концентрации, достаточной для проведения прямых исследований его поверхностно-активных свойств. **Актуальность данных тем** и объясняется проведение диссертационного исследования.

Оценка содержания диссертации.

Рецензируемая диссертационная работа характеризуется полнотой и завершенностью. Текст диссертации состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность исследуемой темы, формулируются цель и задачи работы. В конце введения описаны структура диссертации, кратко изложено содержание трех глав, приведены сведения об апробации работы и публикациях по теме диссертации.

Первая глава диссертации посвящена детальному изучению свойств поверхностно-активных веществ, используемых в гидродинамической задаче. Представлены, основные физико-химические свойства нерастворимой в воде олеиновой кислоты. Различными методами тензиометрии экспериментально исследована динамика формирования поверхностной фазы в четырех растворах одного гомологического ряда калиевых солей карбоновых кислот. Определены численные значения объемных и поверхностных концентраций насыщенного монослоя, значения критических концентраций мицеллообразования, дана оценка характерных времен выхода систем на равновесное состояние, определен тип адсорбционно-десорбционной кинетики для всех растворов ПАВ. Предложен новый метод определения константы Ленгмюра-Шишковского, который наиболее эффективен при исследовании сурфактантов с большими временами адсорбционно-десорбционных процессов. На основе проведенных исследований обоснован выбор двух наиболее отличающихся по ряду свойств, крайних гомолога – ацетат и лаурат калия, в качестве растворимых ПАВ, используемых в конвективной задаче.

Вторая глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию структуры и устойчивости концентрационно-капиллярного течения от сосредоточенного источника на поверхности жидкости, содержащей адсорбированный слой молекул сурфактанта различного типа известной концентрации. В ходе проведения экспериментов было показано, что в отсутствии молекул ПАВ на границе раздела формировалось, теоретически предсказанное ранее, осесимметричное радиальное течение, устойчивое во всем диапазоне управляемых параметров, достижимых в эксперименте. Наличие в системе сурфактанта любой, сколь угодно малой поверхностной плотности не зависимо от его растворимости приводит к формированию двух зон с различной структурой течения: радиальной в центре и многовихревой, периодичной в азимутальном направлении, в области занятой молекулами ПАВ. Показано, что в экспериментах с растворимым сурфактантом основную роль в массопереносе ПАВ между объемной и поверхностной фазами играет динамическая адсорбция, обусловленная непосредственным конвективным переносом молекул на поверхность, а не статическая, измеряемая в равновесных условиях. Проведенное систематическое экспериментальное исследование позволило впервые предложить механизм наблюдаемой неустойчивости, который заключается в несимметрии граничных условий для потенциальной и вихревой составляющей скорости на поверхности, занятой молекулами сурфактанта. Предложен новый параметр подобия, модифицированный параметр упругости, позволяющий описать все полученные в работе экспериментальные результаты единой зависимостью.

Третья глава посвящена описанию разработанной диссидентом методики, позволяющей наиболее эффективно, неинвазивным способом, осуществлять сбор аэрозольных частиц легочной жидкости, содержащей компоненты легочного ПАВ. Предложенный метод основан на процессе барботирования выдыхаемого воздуха через физиологический раствор. Особенностью метода является сбор материала непосредственно в измерительном лотке Ленгмюра, что позволяет избежать процессов переноса материала, приводящих к отсутствию повторяемости результатов измерения. При различных заболеваниях легочной системы наблюдается как количественное, так и качественное изменение легочного сурфактанта, что позволяет использовать изучение его поверхностно-активных свойств для диагностики состояния сурфактантной системы легких в целом. В работе были проведены исследования поверхностно-активных свойств физиологического материала собранного в группе здоровых людей и в группе больных с различными стадиями заболевания туберкулезом легких. Показаны существенные отличия в свойствах материала, собранного в группах сравнения, что позволяет рассматривать предлагаемую методику, как перспективный путь для разработки диагностических методов. На разработанный метод сбора легочного сурфактанта получен патент, соавтором которого является диссидент.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты исследований и определены перспективы дальнейшей работы.

Следует отметить полученные в диссертации **основные результаты**:

- В результате экспериментального исследования динамики формирования поверхностной фазы в растворах калиевых солей карбоновых кислот различными методами тензиометрии получены численные значения основных физико-химических свойств, указанных ПАВ, предложен новый метод определения константы Ленгмюра-Шишковского;
- Экспериментальное исследование устойчивости и структуры концентрационно-капиллярного течения от сосредоточенного источника на границе раздела, содержащей различные сурфактанты известной концентрации, позволило впервые выдвинуть гипотезу о причине, по которой основное радиальное осесимметричное течение теряет устойчивость в зоне занятой молекулами ПАВ и сменяется многовихревым, как наиболее выгодным с энергетической точки зрения, предложен новый безразмерный параметр, позволяющий обобщить результаты экспериментов с различными типами сурфактантов;
- Экспериментальные исследования поверхностно-активных свойств легочного сурфактанта человека, собранного новым неинвазивным методом барботирования выдыхаемого воздуха через физиологический раствор, в группах здоровых и больных с различными стадиями заболевания туберкулезом легких с использованием барьерающей системы Ленгмюра позволили предложить новый метод экспресс-диагностики.

Все результаты были получены впервые и не имеют аналогов в других работах.

Научная и практическая значимость работы заключается в раскрытии механизмов влияния адсорбированных слоев молекул сурфактанта различной растворимости на устойчивость и структуру концентрационно-капиллярного течения от сосредоточенного источника на поверхности жидкости. Результаты экспериментальных исследований будут безусловно полезны при планировании теоретических и численных исследований в плане построения адекватных моделей с учетом процессов динамической адсорбции-десорбции в системах с растворимыми ПАВ. Работа содержит рекомендации по постановке несимметричных граничных условий для скорости в области зоны, занятой молекулами сурфактанта. Диссертационные исследования показали возможность неклассического использования методов тензиометрии для изучения поверхностно-активных свойств растворимых сурфактантов. Разработанная методика барботирования

выдыхаемого воздуха через физиологический раствор позволяет осуществлять более эффективный сбор легочного ПАВ, а также проводить экспресс-оценку состояния сурфактантной системы легких человека в клинической практике.

Достоверность результатов обосновывается тщательной разработкой методик проведения экспериментов, подтверждается сравнением полученных результатов с известными данными других теоретических и экспериментальных работ.

По содержанию диссертационной работы имеется несколько замечаний:

1. Ссылки 124 и 128 представляют одну и ту же работу. То же самое - работы 54 и 85 (85 другое издание работы 54). Вероятно, есть ещё подобные неточности. Их можно было легко избежать, расположив список цитируемой литературы в алфавитном порядке.

2. 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 Пуазеля, а выводы применяются к радиальному течению. Представляется, что было бы целесообразно провести аналогичные построения для случая осесимметрических течений вязкой жидкости.

3. 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.

4. 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.

5. На стр. 85 имеется фраза о численном эксперименте [187], поведенном «группой исследователей во главе с В. Цейнот». Речь идет о публикации Cuenot, Magnaudet & Spennato (J. Fluid Mech., 1997, V. 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.

Заключение

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.

Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком, хорошо иллюстрированы. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Основные результаты исследований опубликованы в 40 работах, включая 3 статьи в журналах из списка ВАК, получен патент на изобретение. Работа прошла апробацию на многочисленных конференциях российского и международного уровня и соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа «Взаимодействие конвективных течений с адсорбированными пленками поверхностно-активных веществ» удовлетворяет

требованиям Положения 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».

Диссертационная работа обсуждалась на научном семинаре «Прикладная гидродинамика» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН» протокол заседания № 20 от 19.10.2016 г. Отзыв обсужден и одобрен на заседании №23 от 09.11.2016 г.

Заведующий лабораторией
«Экспериментальной прикладной гидродинамики»
ИГиЛ СО РАН
доктор физико-математических наук
Евгений Валерьевич Ерманюк

Заведующий лабораторией
«Прикладной и вычислительной гидродинамики»
ИГиЛ СО РАН
доктор физико-математических наук
Владимир Васильевич Кузнецов

Руководитель семинара «Прикладная гидродинамика»
главный научный сотрудник
член-корреспондент РАН
Владислав Васильевич Пухначев

630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15
тел.: +7 (383) 330 12 41; +7(383) 333 30 46; +7(383)333 18 19
e-mail: ermanyuk@hydro.nsc.ru
kuznetsov@hydro.nsc.ru
pukhnachev@gmail.com

