

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Демина Виталия Анатольевича на диссертацию Пименовой Анастасии Владимировны «Динамика несмешивающихся текучих сред с деформируемой поверхностью раздела» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы**

Диссертационная работа Пименовой Анастасии Владимировны посвящена процессам, протекающим в несмешивающихся текучих средах, в частности, физической природе явлений, происходящих на поверхности контакта фаз и в ее непосредственной окрестности. Изучение подобных систем представляется актуальным как с точки зрения фундаментальной физики, так и в связи с многочисленными практическими приложениями.

По используемым подходам и полученным результатам работу в содержательном плане можно условно разбить на три части. Первая часть представляет собой описание процесса парообразования, идущего на поверхности контакта двух несмешивающихся жидкостей при более низкой температуре, нежели температуры объемного кипения обеих жидкостей и сопровождающегося образованием пузырьков. В роли фундаментального стержневого фактора, который, так или иначе, постоянно приходилось принимать во внимание в ходе изучения динамики парового слоя, оказалась неустойчивость Рэлея – Тейлора, отвечающая за срыв парового слоя и формирование пузырьков пара. Таким образом, результаты первой и второй глав могут быть востребованы инженерами-физиками, занимающимися научными разработками в области создания паровых энергетических установок, а также химиками-технологами, которым в ходе своей деятельности тоже приходится сталкиваться с процессами, сопровождающимися явлением парообразования и горением углеводородных смесей.

Второй частью диссертации является исследование динамики волновых структур на границе раздела двух горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей при воздействии продольных высокочастотных вибраций. В определенном смысле ее можно считать естественным продолжением рассматриваемой тематики, которое связывается автором с возможностью управления свойствами гидродинамических систем, имеющих деформируемую границу раздела, посредством вибрационного воздействия.

Третьей составляющей диссертационной работы является задача о возникновении диссипативных сил при столкновении вязкоупругих тел. Эта задача позволяет под другим углом зрения взглянуть на тематику, касающуюся динамики текучих сред с деформируемой поверхностью раздела, и представляет интерес как для развития фундаментальной теории контактного взаимодействия, так и для разработки вопросов теории движения гранулированных сред.

Достоверность материала, изложенного в диссертации, подтверждается внутренней непротиворечивостью результатов, апробированностью и обоснованностью применяемых теоретических методов, согласием результатов исследования в предельных случаях со всеми имеющимися на сегодняшний день данными.

Во введении представлен обзор литературы по рассматриваемой тематике, описана структура диссертации и дана краткая характеристика работы. При описании структуры и объема диссертации констатируется, что она состоит из введения, четырех содержательных глав, к одной из которых имеется 3 приложения, и заключения. Объем диссертации составляет 157 страниц. Работа включает 13 рисунков. Список литературы содержит 113 наименований.

По введению сразу отметим следующие небольшие замечания:

1. К сожалению, как в автореферате, так и тексте диссертации отсутствует сжатая информация о таблицах. Сколько их в диссертации и каково их значение? Традиционно наиболее важными, конечно, являются таблицы, отражающие полученные в диссертации результаты. Но даже систематизированный набор каких-нибудь параметров в таблице, являющийся следствием

кропотливого поиска в литературе, может быть актуальным для более глубокого понимания обсуждаемого вопроса.

2. В списке литературы хотелось бы видеть ссылку на одну из первых в Перми работ по стабилизации неустойчивости Рэлея-Тэйлора с помощью вибраций. Имеется в виду статья В.А. Брискмана и А.А. Черепанова

Брискман В.А., Черепанов А.А. Параметрическая стабилизация неустойчивого равновесия жидкости в сообщающихся сосудах. Уч. зап. Пермск. ун-та, Гидродинамика, 1974, № 316, вып. 5, 159-174.

Обоснованность замечания определяется, в том числе и тем, что Владимир Абрамович Брискман работал в Институте механики сплошных сред (ныне УрО РАН) и принимал здесь в Перми активное участие в постановке многих интересных гидродинамических задач, которые впоследствии получили значительное развитие.

Первая глава посвящена описанию процесса кипения на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. В разделе 1.1 анализируются условия, при которых возможна подобная ситуация. А именно, когда имеет место горение жидкого топлива на поверхности более тяжелой негорючей жидкости, то до тех пор, пока процесс горения не приобретает взрывной характер, он идет без кипения в объеме жидкости. В разделе 1.2 проводится постановка и решение задачи об условиях возникновения, эволюции и характеристиках парового слоя, заключенного между двумя несмешивающимися жидкостями с близкими параметрами. Выведено и решено уравнение для концентрации частиц в паровой области. Проанализирован срыв парового слоя путем выноса газа продувным течением пузелейевского типа. Следствием срыва является формирование пузырька и «обнуление» парового слоя. В результате чего рост парового слоя начинается снова. Найдена оценочная формула скорости изменения толщины этого слоя. Вычислена предельная толщина парового слоя перед срывом пузырька. Получена оценка времени существования парового слоя до момента срыва. Проанализированы три стадии остывания перегретой системы за счет парообразования. В разделе 1.3 рассмотрено кипение на границе раздела жидкостей с произвольными параметрами.

Если оценивать значение первой главы в целом, то представляется, что главным и весьма нетривиальным ее результатом стоит считать получение достаточно полной картины контактного кипения двух несмешивающихся жидкостей в рамках макроскопической теории многофазных систем без привлечения для описания процесса зародышеобразования методов статистической физики.

По первой главе имеются три небольших замечания.

1. Не очень удачной представляется прямая калька с английского языка, когда применяется необоснованно таинственная аббревиатура «уайт-спирит». По мнению оппонента более простым и понятным является термин «бензин-растворитель». Плюс, один раз в начале можно было бы пояснить, что это просто смесь жидких алифатических и ароматических углеводородов, получающаяся прямой дистилляцией нефти, хорошо растворяющая все нефтяные фракции, растительные масла, жиры и другие органические соединения.

2. Рис. 1.4 практически ничем не отличается от рис. 1.7. Оба рисунка схематически иллюстрируют процесс образования пузырька для немного разных исходных данных и отличаются друг от друга лишь длиной растущего участка парового слоя. Вполне можно было обойтись одной иллюстрацией, на которой нужно было ввести соответствующее обозначение, а потом в разных разделах диссертации работать с различными значениями этой величины.

3. С другой стороны, наоборот уравнение 1.40 можно было бы проанализировать численно и на полученных графиках зависимостей от времени наглядно продемонстрировать три стадии остывания перегретой системы за счет парообразования.

Вторая глава в определенном смысле является логическим продолжением предыдущей. В ней рассматривается задача о гравитационной неустойчивости трехслойной системы, когда тонкий горизонтальный слой пара находится между двумя слоями жидкостей с разными плотностями.

Изучено поведение гравитационно-капиллярных волн, а именно, исследована неустойчивость Рэлея – Тейлора на верхней границе раздела жидкость-пар, в результате которой эти волны должны нарастать.

В третьей главе рассматривается влияние высокочастотных горизонтальных вибраций на динамику волн в системе двух слоев несмешивающихся жидкостей с деформируемой границей раздела. Слои предполагаются достаточно тонкими, чтобы возникающие структуры можно было считать длинноволновыми. Методом многих масштабов выводится амплитудное уравнение, которое оказалось одним из эталонных и допускающим солитонные решения. Показано, что вблизи порога вибрационной неустойчивости, описывающим динамику гидродинамической системы является так называемое «плюс»-уравнение Буссинеска. Это уравнение позволяет исследовать структуры с нестационарным профилем, а также провести анализ устойчивости квазистатического рельефа, что является значительным развитием теории, построенной ранее профессорами Пермского государственного университета Д.В. Любимовым и А.А. Черепановым.

В четвертой главе реализована методика, позволяющая вычислить диссипативные силы, действующие при столкновении двух вязкоупругих тел произвольной выпуклой формы. Показано, что при столкновении вязкоупругих тел возникают не только вязкие силы на поверхности контакта, но и объемные вязкие напряжения. Для решения задачи использовался метод разложения по малому параметру. В этой связи естественным представляется выбор величины, использованной в качестве малого параметра – это отношение времени микроскопической релаксации вязкоупругого материала к характерному времени столкновения. Показано, что в главном порядке полученное выражение совпадает с решением контактной задачи Герца. На следующем этапе найдена поправка высшего порядка малости, описывающая искомое действие объемной диссипации.

По четвертой главе тоже необходимо сделать несколько замечаний.

1. На стр. 112 ссылка на работу [19], по-видимому, приведена неверно.
2. В данной главе оппонент обратил внимание, что в диссертации стали наблюдаться отклонения от требуемой безличной формы изложения (стр. 116, 117, 130).
3. При прочтении четвертой главы остается некоторое ощущение неполноты. С точки зрения оппонента здесь не хватает примеров, иллюстрирующих различные аспекты действия полученной поправки.

Диссертация легко читается, что свидетельствует о тщательной работе автора над текстом. Однако как автореферат, так и диссертационная работа не лишены опечаток:

В автореферате на стр. 8 в предложении «*Список литературы содержит 113 наименования*» стоит неправильное склонение.

В диссертации на стр. 10 и 11 две опечатки: слово «*по средством*» написано отдельно и в термине «*квазиравновесных*» сделана досадная орфографическая ошибка.

Сделанные замечания не влияют на общее положительное заключение по диссертационной работе. Полагаю, что работа является оригинальным законченным научным исследованием, в котором наиболее важными являются:

1. описание динамики тонкого парового слоя, находящегося между двумя слоями несмешивающихся жидкостей;
2. анализ солитонных решений в задаче о динамике волн на границе раздела системы двух несмешивающихся жидкостей при наличии продольных вибраций;
3. рассмотрение вопроса о возникновении диссипативных сил при столкновении двух вязкоупругих тел.

Отдельные части этого исследования могут представлять интерес для специалистов в области физикохимии, химиков-технологов, геофизиков и инженерных работников, занимающихся динамикой сыпучих гранулированных сред.

Материал диссертационной работы опубликован в 6 рецензируемых высокорейтинговых журналах из списка ВАК, что является весьма высоким показателем для соискателя ученой степени кандидата наук. В указанных работах достаточно полно отражены основные результаты диссертации. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Пименовой Анастасии Владимировны по своей актуальности, новизне, объему выполненного исследования, научной и практической значимости полученных результатов вносит значительный вклад в развитие теоретических представлений о поведении несмешивающихся текучих сред с деформируемыми поверхностями раздела.

Считаю, что диссертационная работа Пименовой Анастасии Владимировны **«Динамика несмешивающихся текучих сред с деформируемой поверхностью раздела»** отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям (в том числе соответствует второй части пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней»), а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы**.

заведующий кафедрой теоретической физики
Пермского государственного национального
исследовательского университета, д.ф.-м.н.,
доцент

Демин Виталий Анатольевич
24.10.2016

Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, РФ, г. Пермь, ул. Букирева, 15, кафедра теоретической физики.
Рабочий тел. 8 (342) 2396227, e-mail: demin@psu.ru

Я, Демин Виталий Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Пименовой Анастасии Владимировны **«Динамика несмешивающихся текучих сред с деформируемой поверхностью раздела»**, и их дальнейшую обработку.



Подпись Демин В. А.

Е.Б. Антропов