

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Пименовой Анастасии Владимировны** «**Динамика несмешивающихся текучих сред с деформируемой поверхностью раздела**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Анастасии Владимировны Пименовой посвящена исследованию динамики многофазных сплошных сред, компоненты которых не могут смешиваться, а эволюция существенным образом определяется процессами, протекающими на деформируемой межфазной границе.

Явление кипения системы двух несмешивающихся жидкостей ниже температуры объемного кипения обеих компонент находит широкое применение в промышленности. Так, например, перегонка веществ, температура разложения которых ниже температуры их объемного кипения при атмосферном давлении, может быть осуществлена путем кипячения их водных эмульсий благодаря этому явлению. Это явление позволяет добиться особенно высокой теплоотдачи при необходимости быстрого охлаждения жидкостей. Это же явление используется для сжигания мазута и служит причиной запрета на использование воды для тушения горящего органического топлива. При всей практической значимости эффекта понижения температуры кипения границы раздела двух несмешивающихся жидкостей, теоретическое описание этого эффекта при температуре ниже температуры кипения обеих компонент в литературе остается недостаточно развитым. При некоторых режимах поверхностного кипения, макроскопическая динамика системы будет определяться скоростью развития неустойчивости Релея-Тейлора для тонкого парового слоя между слоями легкой (сверху) и тяжелой (снизу) жидкостей. Эффективными средствами управления стратификацией несмешивающихся систем являются вибрационные поля. При этом для случая двухслойной системы невязких жидкостей в поле горизонтальных вибраций ранее были теоретически исследованы только квазистационарные структуры, а вопрос об описании динамики бегущих волн оставался открытым. Процессы на границе контакта сред определяют динамику столкновения выпуклых вязкоупругих тел. Вычисление диссипативной составляющей силы взаимодействия при таком столкновении, представленное в литературе, требовало уточнения. При этом именно диссипативная компонента силы определяет макроскопическую динамику гранулярных систем, поскольку она описывает неупругость межчастичных столкновений. Поэтому тема диссертации А.В. Пименовой, несомненно, является *актуальной и практически важной*, а проведенные диссертантом исследования обладают необходимой для диссертации *научной новизной*.

Диссертация изложена на 157 страницах, состоит из введения, четырех оригинальных глав, заключения, списка литературы из 113 наименований и приложения, имеющего три раздела.

Во введении даются обзор литературы и общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрено теоретическое описание процесса кипения системы двух несмешивающихся жидкостей ниже температуры объемного кипения обеих компонент. На примере прикладной задачи и демонстрационных экспериментов показывается важность именно рассматриваемой постановки задачи. Задача о росте и срыве парового слоя решается сначала для модельной ситуации жидкостей с близкими свойствами, а затем для общего случая жидкостей с отличающимися термодинамическими параметрами. Устанавливается связь осредненной макроскопической динамики системы с результатами описания процессов роста и срыва парового слоя. Оценивается допустимость используемых упрощений.

Во второй главе исследуется задача о срыве парового слоя для случая стратифицированной системы (жидкости не перемешаны в процессе кипения). Задача вычисления инкремента возмущений решается численно в общем случае и аналитически в некотором приближении. Показывается применимость аналитического приближения для актуальных значений физических параметров. Выявляется соответствие между результатами теории и экспериментальными наблюдениями.

В третьей главе рассматривается задача о динамике границы раздела между двумя слоями вязких жидкостей в поле горизонтальных вибраций. Выводятся уравнения динамики крупномасштабных волн в системе. Полученное уравнение оказывается полностью интегрируемым, и его свойства обсуждаются в контексте динамики конкретной физической системы.

В четвертой главе решается задача о динамическом контактном взаимодействии вязкоупругих тел в квазистатическом приближении. Строится строгое корректное разложение по малому параметру, которое позволяет осуществить вычисление вязкой компоненты силы.

В заключении диссертант формулирует основные результаты проведенных исследований.

В приложение вынесены несколько вспомогательных задач для первой главы.

Представляются обоснованными и новыми результаты и положения диссертации, выносимые на защиту, а именно:

- Кинетическая теория процесса поверхностного кипения в системе двух несмешивающихся жидкостей ниже температуры объемного кипения обеих компонент.
- Математические модели динамики макроскопических параметров состояния системы двух несмешивающихся жидкостей при поверхностном кипении ниже температуры объемного кипения обеих компонент.
- Результат теоретического вычисления скорости развития гравитационной неустойчивости (неустойчивости Релея–Тейлора) для тонкого парового слоя между двумя толстыми слоями жидкости.
- Уравнения, описывающие нелинейную динамику длинных волн на поверхности раздела двух бесконечных слоев вязких жидкостей в поле горизонтальных вибраций.
- Подход к аналитическому вычислению деформаций в окрестности поверхности

контакта двух упругих тел при наличии распределенной объемной силы.

- Результат вычисления диссипативной силы при динамическом контакте вязкоупругих тел выпуклой формы в квазистатическом приближении (скорость столкновения тел мала по сравнению со скоростью звука в них).

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

- 1) В **главе 2** несколько раз используется термин «показатель экспоненциального роста», являющийся «калькой» с английского языка, в котором по очевидным причинам нет однозначного термина «инкремент». Хотя термин «инкремент» в диссертации тоже используется.
- 2) **Стр. 114:** в левой части формул (4.4) и (4.5) следовало бы добавить обозначения, чтобы они отличались не только по комментарию в тексте.
- 3) В **главе 4** вязкая компонента силы является поправкой к упругой силе, даваемой теорией Герца. Эта поправка оказывается пропорциональна производной силы Герца по времени. Вместе с тем, при столкновении тел, сила Герца изменяется со временем по такому закону, что возможно формальное превышение поправки над значением основной составляющей силы. На это следовало бы, по крайней мере, в дальнейшем обратить внимание.
- 4) Текст диссертации содержит небольшое количество опечаток, которые не влияют на содержание работы.

Сделанные замечания не снижают ценности проведенных автором исследований и общей положительной оценки диссертации. Полученные результаты являются новыми и важными для приложений. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах, в том числе в престижных журналах: ЖЭТФ, Europhysics Letters, Physical Review E, European Physical Journal E, входящих в мировые системы цитирования. Результаты проведенных исследований докладывались на всероссийских и международных конференциях. Автореферат правильно и точно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа А.В. Пименовой является законченной научно-исследовательской работой, в которой изучен ряд явлений в многофазных системах с несмешивающимися компонентами, решающим образом определяемых процессами на поверхности контакта. Отметим следующие важные научные результаты:

1. Построена теория кинетически процесса поверхностного кипения в рамках макроскопической гидро- и термодинамики.
2. Выведены и исследованы уравнения нелинейной динамики крупномасштабных волн на границе раздела в двухслойной системе невязких жидкостей в поле горизонтальных вибраций. Подчеркнем, что процедура вывода этих уравнений в силу консервативности динамики системы не сводится к типовому слабо-нелинейному анализу.

3. Разработан подход к аналитическому вычислению деформаций в окрестности поверхности контакта двух упругих тел при наличии распределенной объемной силы.
4. Вычислена диссипативная сила, возникающая при динамическом контакте вязкоупругих тел выпуклой формы в квазистатическом приближении.

Считаю, что диссертационная работа «Динамика несмешивающихся текучих сред с деформируемой поверхностью раздела» имеет важное научное и прикладное значение, удовлетворяет всем требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», а ее автор – Пименова Анастасия Владимировна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Михаил Юрьевич Жуков, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,

Заведующий Кафедрой вычислительной математики и математической физики

ФГАОУВПО «Южный федеральный университет»

доктор физико-математических наук, профессор

[myzhukov@sfnedu.ru](mailto:myzhukov@sfnedu.ru)

Михаил Юрьевич Жуков

25.09.2016

Подпись Жукова М.  
Заверено

Зам. директора  
ММФ



А.С. Вологод

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»

Адрес: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8-А, ЮФУ,

Тел.: +7 (863) 218-40-00,

e-mail: [info@sfnedu.ru](mailto:info@sfnedu.ru)

<http://www.sfnedu.ru/>