

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Ширяева Александра Александровича

«АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ КАПЛИ ВО ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Актуальность работы.

Интерес к изучению вопросов взаимодействия заряженных капель с электрическими полями различной конфигурации существует давно и связан с важностью решения ряда научных и технических проблем.

Научный интерес вызван традиционным стремлением к углублению понимания природы атмосферного электричества. Полученные в ходе экспериментов и численного моделирования результаты взаимодействия заряженных капель с внешними электрическими полями уже достаточно и плодотворно используются при анализе разнообразных геофизических феноменов: огней св. Эльма, свечения воронок смерчей, инициирования разряда молнии, накопления суммарного облачного заряда, рассеяния оптически плотных аэродисперсных систем и т.д.

Кроме задач, связанных с анализом атмосферных и геофизических феноменов, результаты исследований используются и для решения технических проблем: радиолокационного зондирования облаков; наружной стимуляции сердечной деятельности; влияния быстропеременных электромагнитных полей на красные кровяные тельца и эритроциты; комбинационного рассеяния света на капиллярных колебаниях капель и для определения спектрального состава жидко-капельного аэрозоля.

К настоящему времени установлено, что во всех выше перечисленных процессах важную роль играют капиллярные электрогидродинамические неустойчивости, проявляющиеся как в явлениях коагуляции, так и в явлениях дальнейшего дробления отдельных капель, когда величины их собственных или поляризационных зарядов превышают некоторые критические значения.

В последнее время наблюдается значительный рост интереса к исследованию капиллярных электрогидродинамических неустойчивостей. Это связано с появлением и развитием новых технологических направлений: масс-спектрометрического анализа нелетучих и термически нестабильных жидкостей, электрогидродинамическому распылению жидкометаллических сплавов, созданию коллоидных реактивных двигателей, разработке жидкометаллических источников ионов.

Исследованиям линейных осцилляций, устойчивости и закономерностей электростатического распада заряженных капель посвящено большое количество публикаций. Однако необходимо констатировать, что на сегодняшний день общая картина развития неустойчивости отсутствует. Имеющиеся модели можно использовать только для идеализированных ситуаций, что позволяет составить лишь некоторую приближённую картину всего явления со многими отсутствующими фрагментами.

В рецензируемой работе рассматривается комплекс научных и практических аспектов, связанных с проблемой устойчивости капель идеальной жидкости в однородном и неоднородном электростатических полях на основе идей и подходов электрогидродинамики. Полученные результаты позволили автору сформулировать практические рекомендации, необходимые для развития новых технологических направлений.

На основании выше перечисленного можно считать рецензируемую работу, несомненно, **актуальной**.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Научные положения и выводы, сформулированные соискателем в диссертации, научно обоснованы и аргументированы. Теоретические положения и методы исследования основываются на анализе результатов большого числа теоретических и экспериментальных исследований. Математическая постановка задач достаточно обоснована и вопросов не вызывает. Аналитическое исследование произведено асимптотическими методами, широко используемыми при рассмотрении задач электрогидродинамики. Расчёты проведены аккуратно, о чём свидетельствуют представленные в диссертации результаты сравнений с результатами работ других авторов.

Научная новизна и достоверность результатов диссертации.

Исследованиям линейных осцилляций, устойчивости и закономерностей электростатического распада заряженных капель посвящено большое количество публикаций. Однако необходимо констатировать, что на сегодняшний день общая картина развития неустойчивости в капле отсутствует. В силу этого можно утверждать, что **научная новизна и ценность** работы состоит в следующем:

1. Получены аналитические выражения равновесных форм заряженных капель в неоднородных электростатических полях.
2. Получено дисперсионное соотношение для капиллярных волн и аналитические решения для амплитуд отдельных гармоник на начальной стадии развития электрокапиллярной неустойчивости.
3. Проведен сравнительный анализ влияния внешних неоднородных электростатических полей на устойчивость заряженной капли.
4. Рассмотрена устойчивость заряженной капли в поле проводящего стержня конечных размеров. Проведено аналитическое исследование влияния геометрических параметров поддерживаемого при постоянном потенциале прово-

дящего стержня, и выявлено влияние неоднородности поля в сравнении с влиянием электроёмкости стержня.

5. Установлена связь критических параметров, при которых поверхность заряженной капли становится неустойчивой, от напряжённости внешнего поля и заряда капли.

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы в дальнейшем для развития следующих научных направлений: электрогидродинамической неустойчивости капель, электрогидродинамики, гидродинамики, механики сплошной среды.

Представленные результаты можно считать **достоверными**, так как полученные выводы соответствуют известным экспериментальным фактам, а критические условия распада капли согласуются с фундаментальными работами Рэлея и Тейлора. Достоверность также подтверждается согласованием полученных в диссертации результатов и теоретических зависимостей с результатами численного моделирования, проведённого другими исследователями.

Практическая значимость.

Результаты теоретического анализа устойчивости капиллярных осцилляций поверхности заряженной капли, находящейся во внешнем электростатическом поле, представляют практический интерес в процессах электродиспергирования, электроэмульсификации и могут быть использованы при совершенствовании оборудования для масс-спектрометрии, жидкокапельной печати и коллоидных реактивных двигателей. Полученные закономерности распада аэрозольных капель применимы также и для развития теории грозового электричества.

Публикации и апробация работы. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание диссертации отражено в 11 печатных работах, из них 6 – в изданиях международных систем цитирования Web of Science и Scopus. Материалы работы неоднократно представлялись на семинарах и конференциях, имеющих статус всероссийских и международных.

Содержание работы. Структурно работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 163 страницы текста, в том числе: 45 рисунков и 5 таблиц. Библиография насчитывает 104 наименования.

Во введении определены объект и предмет исследования, сформулированы цели и соответствующие им задачи исследования. Отмечена актуальность и научная новизна диссертационной работы. Дано описание методологии и методов. Сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы по вопросам электрогидродинамической неустойчивости капель по отношению к собственному или индуцированному внешним электростатическим полем заряду.

В первой части главы дано подробное описание имеющихся на данный момент экспериментальных исследований. Методики проведения экспери-

ментов по проверке критических условий электрогидродинамической неустойчивости капли представлены в их историческом развитии.

Во второй части главы представлено подробное описание теоретических подходов к описанию электрогидродинамической неустойчивости капель. Особенно отмечены теоретические работы, в которых предпринимались попытки аналитически определить критические условия неустойчивости заряженной капли во внешнем электростатическом поле.

На основании анализа литературного материала выбрана математическая модель, наиболее адекватно описывающая процесс электрогидродинамической неустойчивости капли в электрических полях.

Вторая глава посвящена непосредственному решению электрогидродинамических задач о неустойчивости заряженной поверхности капли, находящейся во внешнем однородном и неоднородном электростатическом поле.

В начале первой части главы представлены результаты по исследованию вида равновесной поверхности проводящей заряженной капли, вытянутой вдоль направления внешнего электростатического поля. В дальнейшем, полученные результаты, автор использует для решения задачи о неустойчивости равновесной поверхности к малым возмущениям. Задача о неустойчивости решалась с использованием асимптотических методов. Такой подход позволил автору получить дисперсионное соотношение и сформулировать критическое условие реализации неустойчивости заряженной капли во внешнем однородном электростатическом поле.

Вторая часть главы посвящена аналитическому исследованию капиллярной неустойчивости поверхности капли во внешнем неоднородном электростатическом поле, создаваемым неподвижным точечным зарядом. Сформулирована методика представления потенциала электрического поля в окрестности капли, проведены оценки точности разложения. Дана физическая интерпретация критических значений полевого параметра. Исследована зависимость значений полевого параметра от расстояния между каплями и точечным зарядом, создающим внешнее электростатическое поле.

В конце главы представлены результаты исследования капиллярной неустойчивости поверхности заряженной капли в неоднородном электростатическом поле, создаваемым точечным диполем. Получены критические значения полевого параметра для отдельно взятой гармоники возмущения.

Предметом исследования третьей главы является поведение капли в электростатических полях более сложных конфигураций. Представлены результаты решения следующих задач:

- неустойчивость заряженной капли идеальной жидкости, находящейся во внешнем электростатическом поле, создаваемым заряженной нитью конечной длины;
- неустойчивость заряженной капли во внешнем неоднородном электростатическом поле проводящего цилиндрического стержня конечных размеров, поддерживаемого при постоянном потенциале.

В главе дано подробное описание влияния на устойчивость заряженной капли длины нити, неоднородности электростатического поля и влияния размеров стержня на критические значения полевого параметра.

В четвёртой главе представлен сравнительный анализ результатов, полученных во второй и третьей главах. На основании анализа определены свойства критических условий реализации неустойчивости капли в рассмотренных конфигурациях неоднородных полей.

Несмотря на общую положительную оценку работы, по содержанию диссертации можно отметить следующие замечания:

1. В работе не приводятся иллюстрации равновесных форм поверхности капли, рассчитанные по полученным аналитическим выражениям.
2. Желательно рассмотреть случай неустойчивости капиллярно-гравитационных волн, чтобы результаты могли быть применены и к крупным каплям.
3. Зависимость двух величин критических значений полевого параметра от величины зарядового параметра следовало бы привести на одном рисунке, а не на двух отдельных (Рис. 4.3 и Рис. 4.4).
4. К сожалению, сравнение модельных расчётов с экспериментальными результатами разбросано по различным главам диссертации. Лучшим вариантом было бы представить результаты сравнения в одном месте.
5. Необходимо отметить некоторую небрежность, проявленную автором, к оформлению диссертации. Ряд рисунков пронумерован неправильно (вместо Рис 4.1.3 следует написать Рис. 4.3 и т.д.). На некоторых графиках у осей отсутствуют обозначение единиц измерения.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку работы **Ширяева Александра Александровича** в целом. В рецензируемой работе автор на основании теоретического исследования проблем устойчивости капель идеальной жидкости в однородном и неоднородном электростатических полях получил важные результаты, необходимые для развития новых технологических направлений и, тем самым, внес существенный вклад в решение научной проблемы, имеющей важное как научное, так и хозяйственное значение.

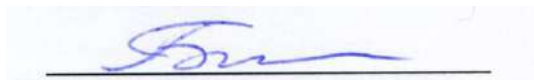
Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

На основании выше изложенного считаю, что диссертационная работа **Ширяева Александра Александровича «АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ КАПЛИ ВО ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ»** представляет собой законченную актуальную научно-исследовательскую работу. Диссертация полностью отвечает критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого Правительством РФ от 24.09.2013г. № 842, а её автор заслу-

живает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Низких температур»
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».
Доктор технических наук
Моб. телефон: 8-916-327-72-20
Электронная почта: boukharov@mail.ru



Бухаров Александр Васильевич

Телефон организации: +7 (495) 362-72-01
Адрес: 111250, Россия, г. Москва,
Красноказарменная улица, дом 14
<https://mpei.ru/Pages/default.aspx>

26 02 2020 г.

Подпись Бухарова А.В.
заверяю
Помощник проректора

 С.К. Попов

