

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки «Институт проблем
механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук»,
д. ф.-м. н., член-корреспондент РАН

Якуш С. Е.

2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук о
диссертационной работе **Пьянковой Марины Анатольевны**
«Влияние динамики линии контакта на поведение капли в электрическом поле»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа Пьянковой М.А. посвящена проблемам, связанными с исследованием влияния периодических внешних полей на динамику линии контакта трех сред на примере зажатой капли. Рассматриваются процессы электросмачивания на диэлектрической подложке и механические вибрации, как одни из наиболее часто используемых воздействий для управления каплями. При решении используются как аналитические методы математической физики, так и численные методы.

Целью диссертации является изучение и определение зависимостей амплитуды колебаний и формы капли от параметров задачи, таких как размер капли, частота внешнего воздействия, параметр смачивания и т.д.

В диссертации решены следующие задачи:

1. Зависимость частоты и декремента затухания собственных колебаний капли, зажатой между параллельными пластинами, от параметров задачи. Условие движения линии контакта учитывает пространственную неоднородность поверхности пластины.

2. Амплитудно-частотные характеристики, форма капли и положение линии контакта капли под действием вибраций или переменного электрического поля. Рассматривается влияние как пространственно-однородного, так и неоднородного электрического поля.

3. Вынужденные колебания цилиндрической капли и их устойчивость в поле эллиптических вибраций. Результаты обобщены на случай ансамбля таких капель.

Актуальность и практическая значимость объясняется тем, что явление электросмачивания на диэлектрической подложке привлекает большое внимание из-за его важности для многочисленных технологических приложений, и в первую очередь, лаборатории-на-чипе. Для улучшения свойств таких устройств решающее значение имеет фундаментальное понимание динамики капель, обусловленной электросмачиванием. Полученные результаты могут использоваться для увеличения интенсивности перемешивания в лаборатории-на-чипе, определения формы неоднородности пластины и измерения параметра смачивания.

Научная новизна работы состоит в следующем:

4. Предложено новое условие для описания динамики линии контакта при электросмачивании на диэлектрической подложке в переменном электрическом поле. Эта модель позволяет учитывать, как пространственную неоднородность поля, так и поверхности подложки. Показано, что неоднородность поверхности может ограничивать максимальное значение краевого угла.

5. Найдены частоты и декременты затухания собственных колебаний капли жидкости, зажатой между неоднородными пластинами с учетом движения линии контакта. Изучены вынужденные колебания такой капли в поле поперечных

вибраций. Показано, что неоднородность эффективно меняет параметр смачивания и приводит к возбуждению азимутальных мод.

6. Исследована параметрическая неустойчивость цилиндрической капли в поле круговых вибраций, построена карта неустойчивости. Модель качественно обобщена на случай ансамбля таких взаимодействующих капель. Обнаружено существование нескольких динамических режимов.

Оценка содержания диссертации.

Текст диссертации содержит 102 страницы, включая 45 рисунков, и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка 99 источников литературы. Работа характеризуется полнотой и завершенностью.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, продемонстрированы научная новизна и достоверность результатов, описана их практическая и теоретическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена литературному обзору, который относится к результатам исследования поведения капель и пузырьков на подложке в электрическом (**раздел 1.1**) или вибрационном (**раздел 1.2**) поле.

Глава 2 посвящена исследованию влияния неоднородности поверхности под действием переменного электрического поля на вынужденные колебания капли жидкости. Предложена модель учёта неоднородности поверхности подложки. Рассмотрен случай пространственно-однородного электрического поля. Благодаря неоднородности поверхности возбуждаются азимутальные моды, тогда как внешняя сила вызывает только осесимметричные колебания. Получены данные об отклонении поверхности и частотных характеристиках в зависимости от постоянной Хокинга, частоты и амплитуды внешнего электрического поля и геометрических параметров системы.

В главе 3 представлены результаты исследования влияния неоднородности поверхности на вынужденные колебания зажатой капли жидкости в неоднородном

переменном электрическом поле. Продемонстрировано удовлетворительное согласие с экспериментальными данными.

В главе 4 диссертации рассмотрены собственные и вынужденные колебания цилиндрической капли, заключенной между твердыми пластинами, с учетом динамики линии контакта, под действием поперечных вибраций. Эта сила возбуждает только осесимметричные вибрации подобно однородному электрическому полю. Неоднородные твердые пластины имеют различные параметры Хокинга, что приводит к возбуждению как нечетных, так и четных гармоник осесимметричной моды, а также азимутальных мод.

В главе 5 рассматриваются вынужденные колебания, и параметрическая неустойчивость цилиндрической капли, а также ансамбля взаимодействующих между собой капель при круговых вибрациях. Круговые вибрации являются общим случаем трансляционных вибраций и возбуждают азимутальные колебания, похожие на колебания капли в неоднородном электрическом поле.

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

Достоверность результатов обеспечивается использованием линеаризованного интеграла Коши-Лагранжа для малоамплитудных колебаний с применением хорошо зарекомендовавших себя аналитических и численных методов и сравнением с экспериментальными данными и результатами других авторов.

Диссертация прошла необходимую апробацию. Результаты исследований были представлены на конференциях всероссийского и международного уровней. Полученные результаты опубликованы в 10 работах, включая 7 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных WOS/SCOPUS, и 3 статьи в журналах из списка ВАК.

По содержанию диссертационной работы имеются замечания:

1. На стр. 21 диссертации интеграл Коши-Лагранжа для нестационарного

потенциального течения идеальной жидкости называется уравнением Бернулли. Уравнение Бернулли – это интеграл для случая стационарного течения жидкости.

2. В конце стр. 22 в граничном условии выписано нестандартное обозначение $\text{div } n$, где n вектор нормали, заданный только на границе. Это обозначение нигде не расшифровывается и фактически автор запутывает читателя.

Заключение.

Сделанные по работе замечания не снижают общей научной значимости и практической ценности полученных в работе результатов. Диссертационная работа Пьянковой М.А. выполнена на достаточно высоком научном уровне и представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Результаты диссертационной работы были доложены автором на научном семинаре лаборатории механики сложных жидкостей ИПМех РАН "Прикладная механика сплошных сред" (руководитель: д.ф.-м.н. Рожков А.Н.) 15.06.2023. Диссертационная работа и отзыв были обсуждены и одобрены участниками данного семинара 13.07.2023, а диссертационная работа Пьянковой М.А. рекомендована для защиты.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории механики систем Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН Петровым Александром Георгиевичем.

Главный научный сотрудник
лаборатории механики систем,
ИПМех РАН,
чл.-корр. РАН
119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1,
тел. +7 (495) 434-15-65
E-mail: reshmin@ipmnet.ru



Зав. лабораторией
Решмин С.А.

Главный научный сотрудник
лаборатории механики систем,
ИПМех РАН,



Петров А.Г.

д. ф.-м. н.

119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1,

тел. +7 (495) 934-00-17

E-mail: petrov@ipmnet.ru

Подпись Решмина С.А. и Петрова А.Г. подтверждаю:

Ученый секретарь

ИПМех РАН,

к. ф.-м. н.



Котов М.А.