

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Пьянковой Марины Анатольевны
Влияние динамики линии контакта на поведение капли в электрическом поле,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Пьянковой М. А. посвящена теоретическому исследованию динамики зажатой между параллельными пластинами капли под действием внешней периодической силы. Рассматривается несколько задач: вынужденные колебания капли между однородными/неоднородными пластинами в однородном/неоднородном переменном электрическом поле, собственные и вынужденные колебания цилиндрической капли под действием продольных вибраций, а также устойчивость вынужденных колебаний одиночной капли и ансамбля капель при круговых вибрациях.

Для изучения вынужденных колебаний капли в переменном электрическом поле было предложено новое условие для описания эффекта электросмачивания на диэлектрической подложке на основе условия Хокинга. Эта модель позволяет учитывать одновременно пространственную неоднородность электрического поля и диэлектрической подложки. Также рассмотрены две задачи о движении капли при вибрационном воздействии: в первом случае зажатая между параллельными пластинами цилиндрическая капля совершает продольные колебания, во втором – поперечные круговые колебания. Обнаружено, что при поперечных колебаниях капли на ее поверхности возбуждаются азимутальные колебания, тогда как действие продольной периодической силы способно вызывать только осесимметричные колебания капли, зажатой между однородными пластинами. Дополнительно рассмотрена устойчивость вынужденных колебаний капли в поле круговых вибраций. Результаты исследований обобщены на ансамбль взаимодействующих между собой капель. Обнаружены три динамических режима движения капель вблизи границы линейной неустойчивости, а именно, затухающие колебания, режим бегущей по ансамблю капель волны и синхронный режим, когда все капли двигаются одинаковым образом.

Актуальность. Изучение эффекта электросмачивания на диэлектрической подложке является актуальным направлением исследований для современной микрофлюидики. Интерес исследователей к этой области знаний обусловлен прикладным характером получаемых результатов, которые могут быть использованы для разработки новых методов управления каплями и новых техник измерения физических характеристик капель бесконтактным способом.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы (99 наименований). Общий объем диссертации составляет 102 страницы, включая 45 рисунков.

Во введении дается обоснование актуальности, научной и практической значимости исследования, а также сформулированы цель и задачи, показана научная новизна исследований.

В первой главе приведен обзор литературы, содержащий известные результаты исследований электросмачивания и динамики контактной линии при наличии колебаний, а также описание теоретических моделей и результаты сравнения их предсказаний с данными экспериментов.

Во второй и третьей главах рассматривается явление электросмачивания и его влияние на движение линии контакта зажатой капли. Автор диссертации использует новую модель для описания динамики линии контакта, которая позволяет описывать неоднородности поверхности подложки и электрического поля. Исследуются малоамплитудные колебания, т.е. отклонение поверхности капли мало по сравнению с ее равновесным радиусом. Показано, что неоднородность поверхности диэлектрической подложки приводит, во-первых, к возбуждению азимутальных колебаний, во-вторых, к ограничению максимальной амплитуды изменений краевого угла при увеличении частоты колебаний электрического напряжения, что согласуется с данными экспериментов. При исследовании динамики капли в неоднородном электрическом поле показано, что в этом случае также возбуждаются азимутальные колебания.

В четвертой и пятой главах рассматривается влияние вибраций на динамику капли. Показано, что коэффициент затухания свободных колебаний определяется суммой отдельных коэффициентов для каждой пластины. Продольные вибрации возбуждают, как правило, осесимметричные колебания капли. Однако, когда ограничивающие каплю пластины неоднородные, могут также возбуждаться азимутальные колебания. Когда капля совершает вынужденные поперечные круговые колебания, ее сечение представляет собой почти идеальную окружность, центр которой двигается по эллиптической траектории. Вместе с тем наблюдается эффект сжатия капли вдоль направления вибраций. Также исследована параметрическая неустойчивость вынужденных колебаний одиночной капли с постоянным краевым углом и ансамбля взаимодействующих капель и построена диаграмма для обнаруженных мод неустойчивости.

В Заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации. Изложенные автором научные положения и выводы достаточно ясно сформулированы. Достоверность полученных результатов подтверждается

успешным сравнением в предельных случаях с известными теоретическими и экспериментальными данными.

Новизна исследований и полученных результатов. Автором диссертации представлена новая теоретическая модель для описания электросмачивания, а также для учета пространственных неоднородностей поверхности подложки и электрического поля.

Получено аналитическое решение, описывающее течение жидкости в цилиндрической капле, зажатой между различающимися неоднородными пластинами при учете динамики линии контакта в поле осесимметричных вибраций. Показано, что в случае различающихся однородных пластин возбуждаются как четные, так и нечетные гармоники. В случае неоднородных пластин возбуждаются азимутальные моды, спектр которых определяется неоднородностью границ.

Для вынужденных колебаний цилиндрической капли в поле круговых вибраций исследована параметрическая неустойчивость на удвоенной частоте внешнего воздействия. Получена система нелинейных уравнений для ансамбля таких капель и обнаружены три режима колебаний взаимодействующих капель вблизи нейтральной линии линейной неустойчивости.

Практическая и теоретическая значимость полученных результатов. Полученные во второй и третьей главе результаты могут быть использованы в практических приложениях, связанных с проектированием и использованием микроустройств, таких как лаборатория-на-чипе. Данные о колебаниях капли в вибрационном поле могут быть использованы для определения свойств поверхности подложки.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Апробация результатов. Диссертация прошла необходимую апробацию. Результаты исследований представлены на конференциях всероссийского и международного уровней.

Публикации. Полученные результаты диссертации опубликованы в 10 статьях, 7 из которых опубликованы в журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, другие 3 статьи опубликованы в журналах из списка ВАК.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации. Диссертация Пьянковой М. А. представляет собой хорошо структурированный законченный научный труд, имеющий ценность для научного сообщества и перспективу применения в технологичных приложениях. В то же время к тексту работы имеются замечания:

1. В первой главе при обсуждении электросмачивания автор указывает на расхождение между предсказаниями моделей, основанных на уравнении Юнга – Липпманна (уравнение 1.1 в диссертации), и данными экспериментов: уравнение

Юнга – Липпманна предсказывает, что краевой угол становится равным нулю при достижении критического напряжения, а эксперименты показывают, что в действительности краевой угол стремится к ненулевому пределу при высоких напряжениях. Указывая на недостаток предсказаний уравнения 1.1, автор в расчетах использует модифицированное условие Хокинга (уравнение 1.3 в диссертации). Однако, результаты вычислений краевого угла в зависимости от напряжения показывают, что краевой угол также стремится к нулю при высоком напряжении (например, рис. 2.9 и рис. 3.9). Возникает вопрос: чем предложенный автором подход лучше «классического»?

2. При обсуждении параметра Хокинга на стр. 12 и 13 указывается, что он характеризует взаимодействие жидкости со стенками. О каком именно взаимодействии идет речь? Этот параметр также используется в безразмерном виде. Что именно означает, что $\lambda = 0, 1$ или 10 ?

3. Когда обсуждается влияние неоднородного электрического поля на движение цилиндрической капли, автор рассматривает изменяющееся по азимуту поле. Интуитивно кажется, что на практике электрическое поле скорее будет зависеть от радиальной координаты, нежели от азимутальной. Почему автор выбрал для рассмотрения именно азимутально неоднородное поле? Такой же вопрос возникает, когда автор рассматривает азимутально неоднородные границы капли.

4. На странице №83 автор пишет «Учет взаимодействия линии контакта с поверхностью пластин продемонстрировал принципиальную возможность вытягивания тяжелой капли, что согласуется с экспериментами». О каких экспериментах идет речь?

5. Некоторые рисунки в диссертации перегружены информацией, из-за чего трудно осмыслить представленные на графиках данные и проанализировать сделанные автором выводы (например, рис. 2.11а – е или рис. 3.13а – е).

6. Текст диссертации содержит неточности и опечатки, характерные для подобного рода работ. Например, на странице №81 присутствует явная описка в утверждении о том, что выражение $\rho_e + \rho_i = 1$ определяет частоту вибраций капли. Там же присутствует ошибочная ссылка на рис. 5.1 вместо правильной ссылки на рис. 5.2.

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки и положительного впечатления от диссертационной работы.

Общее заключение. Диссертационная работа «Влияние динамики линии контакта на поведение капли в электрическом поле», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, выполнена на хорошем научном уровне и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор Пьянкова Марина Анатольевна заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физики и технологии
ФГБОУ ВО «Пермский государственный
гуманитарно-педагогический университет»



Полежаев Денис Александрович

04.09.2023

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Пермский государственный
гуманитарно-педагогический университет»,
614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 24
e-mail: polezhaev@pspu.ru, +7 919 7 100 101

Подпись Полежаева Д. А. заверяю

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «ПГГПУ»

Гранкина Е. П.

