

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Ильиных Андрея Юрьевича** «Экспериментальные исследования гидродинамики всплеска капли», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы диссертационного исследования

Развитие исследований в области естественных и технических наук в последние десятилетия привело к осознанию роли эффектов, происходящих на микро- и нано- уровнях, для понимания и описания многих макроскопических процессов. С этим фактом связано, в частности, бурное развитие нанотехнологий в различных отраслях промышленности.

Одним из наиболее распространенных объектов, характеризующих локализованный объём некоторого вещества природного или техногенного происхождения, является капля жидкости. Минимальные характерные размеры капель могут составлять доли микрометров, то есть достигать уровня наночастиц. Наибольший интерес, разумеется, вызывают динамические процессы, сопровождающие столкновения капель и их соударения с поверхностью жидкости. В научной литературе представлен значительный объём экспериментальных и теоретических исследований, касающихся указанного вопроса. Вместе с тем изучению взаимодействия капли с поверхностью жидкости на микроуровне уделено слишком мало внимания, чтобы говорить о знании и понимании деталей этого явления.

Представленная диссертационная работа А.Ю. Ильиных достаточно удачно восполняет существующий пробел. Востребованность работы связана с установлением фундаментальных принципов формирования короткоживущих динамических структур при падении капель на поверхность жидкости и многочисленными приложениями в технологиях переработки углеводородного сырья, технологиях нанесения покрытий, метеорологии.

Таким образом, выбор автором диссертации направления исследований представляется обоснованным. Можно также утверждать, что научная тема диссертации, посвященная гидродинамике всплеска капель при их соударениях с поверхностью жидкости, является **актуальной и перспективной.**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Приведенный в диссертационной работе перечень защищаемых положений чётко отражает результаты проделанной работы и основан на итоговых научных выводах.

В частности, положение, свидетельствующее о содержании в брызгах веществ, как падающей капли, так и принимающей жидкости, обосновано непосредственным анализом содержимого улавливаемых брызг. Процессы образования тонких структур зафиксированы на многочисленных фотографиях и обусловлены концентрацией энергии падающей капли в тонком поверхностном слое, что подтверждается анализом характерных времён процесса и характерных масштабов.

Аналогично наблюдение коротких волн на поверхности капли связано с отрицательными значениями относительного коэффициента поверхностного натяжения, что обосновано проведенными измерениями, результаты которых изложены в третьей главе. Образование структурных уровней также зафиксировано на фотографиях и, самое главное, хорошо воспроизводится при изменении параметров процесса взаимодействия капли и поверхности принимающей жидкости.

Все выводы по диссертации сопровождаются данными инструментальных измерений, количественными соотношениями и конкретными значениями параметров задачи или пределами их изменения, при которых наблюдался тот или иной эффект, что свидетельствует об обоснованности этих выводов и научных положений.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Методы экспериментального исследования в диссертационной работе основаны на использовании достаточно хорошей приборной базы. Техника проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных подробно описана и протестирована. Полученные автором результаты не противоречат проведенным ранее исследованиям.

В диссертационной работе А.Ю. Ильиных получен целый ряд новых и важных научных результатов.

В работе впервые представлены важные особенности картины течения при взаимодействии капли с принимающей жидкостью: группы капиллярных волн на поверхности погружающейся капли, возникающих при ударе вылетающих брызг. Экспериментально прослежены условия попадания вторичных брызг на каплю. В картине растекания капли по поверхности принимающей жидкости (жидкости смешивающиеся), которая изучается длительное время, впервые удалось систематически зарегистрировать дискретную картину распределения вещества. Вещество окрашенной капли образует на поверхности венца и каверны линейчатые и сетчатые структуры. Прослежена связь геометрии течения с

безразмерными параметрами задачи. Эффект дискретизации не наблюдается при растекании капель несмешивающихся жидкостей. Предложен физический механизм наблюдаемой структуризации, основывающийся на учете доступной потенциальной поверхностной энергии, которая освобождается при уничтожении свободных поверхностей.

Достоверность и новизна научных положений основана на применении фундаментальных законов физики при постановке задач исследования, проведении этих исследований и формулировке выводов. Подтверждением указанного факта следует считать публикации в ведущих научных журналах и апробацию работы на многочисленных научных конференциях, предполагающую детальное обсуждение результатов исследований.

Наиболее существенные научные результаты, полученные лично автором

Во введении диссертационной работы автором представлены краткий аналитический обзор научной литературы, касающийся гидродинамики всплеска капли при её падении на поверхность принимающей жидкости, определён круг нерешённых проблем, сформулированы цель и задачи для объекта исследований – свободно падающей капли и, возникающих при её контакте с поверхностью жидкости, гидродинамических эффектов.

В первой главе, посвященной теоретическим основам рассматриваемых процессов, установлены пространственный и временной масштабы диссипативно-капиллярных явлений, сопровождающих контакт капли с поверхностью жидкости. Показано, что эти масштабы сопоставимы с толщиной приповерхностного слоя и временем «уничтожения» поверхностного слоя, из чего следует важный вывод, что плотность поверхностной энергии существенно больше плотности кинетической энергии падения капли.

Во второй главе подробно описаны техника и методика проведения экспериментальных исследований. Автором разработан управляющий блок для синхронизации процесса фотосъёмки с отрывом капли, что позволило повысить точность измерений и оптимизировать проведение экспериментальных исследований.

Картины течений, образующихся при падении свободно падающей капли в покоящуюся жидкость представлены в третьей главе. Измерены скорости линий контакта капли и принимающей жидкости и приведена зависимость изменения скорости контакта с расстоянием от центра контакта. Большой интерес вызывает тот факт, что скорость границы контакта изменяется в пределах от скорости, превышающей скорость звука в воде, и далее, снижаясь до скорости звука при достижении пятном контакта определенного радиуса (указано значение $27 \cdot 10^{-4}$ см, в начале

пятно контакта имело радиус $6 \cdot 10^{-4}$ см). Показано, что поверхностная энергия концентрируется в узком кольце и затем трансформируется в кинетическую энергию новых компонентов течений в виде брызг и струй. При этом вновь образованные брызги при отрицательных значениях относительного коэффициента поверхностного натяжения попадают на поверхность исходной капли, причем число ударов брызг о поверхность капли растёт с увеличением разности коэффициентов поверхностного натяжения капли и принимающей жидкости.

Большое прикладное значение имеют результаты четвёртой главы, в которой детально визуализирована пространственная структура распределения вещества окрашенной капли в принимающей жидкости. Доказана принципиальная разница между смешивающимися и несмешивающимися жидкостями капли и принимающей жидкости. В первом случае образуются чётко выраженные линейчатые структуры, во втором – распределение вещества более размытое, а число брызг оказывается заметно меньшим.

Как важное достижение, отражающее количественные соотношения между экспериментальными данными и параметрами задачи, представленное в пятой главе диссертации, следует отметить графики изменения числа ярусов и отношения радиусов центрального пятна и каверны в зависимости от числа Онезорге (Рис. 5.11). Аналогично следует отметить и результаты, представленные на Рис. 5.5, в которых число ярусов и число, характеризующее целостность колец, отражают зависимость от числа Вебера.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Полученные в диссертации результаты с очевидностью представляют научный интерес и могут служить основой для практических приложений, в частности, в судебно-медицинской экспертизе. Следует подчеркнуть научно-методическое значение выполненной работы, связанное с постановкой задачи детального исследования процесса соударения капли, состоящей из одного вещества с поверхностью жидкости, состоящей из другого вещества.

Замечания

1. В диссертационной работе установлены критерии подобия (с. 30), определяющие условия экспериментальных исследований. В итоге были построены зависимости числа ярусов структур от чисел Онезорге (Рис. 5.11), Вебера (Рис. 5.5) и критерии образования коротких поверхностных волн в соответствии с относительным коэффициентом поверхностного натяжения R_σ . Однако в выводах не отмечена корреляция между обнаруженными эффектами и другими безразмерными параметрами: Re , Fr_d , Bo , Ca_U . Тем более, что на с. 84 приведен

- диапазон их изменения при проведении экспериментальных исследований. Следует ли из этого, что эти числа не влияют на результаты экспериментов?
2. На с. 36 перед уравнением (1.13) ссылку на работу [97] следует изменить на [109].
 3. Форма записи системы уравнений (1.1) требует некоторых пояснений, связанных с модельными представлениями автора о происходящих процессах. (Следует отметить, что окончательная форма записи системы уравнений математической модели рассматриваемой задачи (1.13)-(1.16) написана точно и не вызывает сомнений).
 4. К сожалению, ряд фотографий исследуемых процессов не содержит указания геометрического масштаба картины.
 5. На фотографиях, фиксирующих выброс брызг (например, с. 68), отмечаются стримеры (полосчатые структуры). Возникает вопрос об их физической интерпретации: являются ли они микроструями жидкости или следами (траекториями) движущихся капель при их регистрации с экспозицией $1/4000$ с?
Возможно, для ответа на вопрос следует сделать количественную оценку.
 6. В разделе «Основные результаты и выводы» текст третьего по счету пункта следовало бы предварить словами: «При падении капли и соприкосновении её с принимающей поверхностью...». Иначе непонятно, о чём собственно идёт речь.
 7. В том же разделе текст вывода в седьмом пункте следует исправить. В первом предложении: «Вещество капли, смешивающееся с жидкостями капли и принимающей среды...» вторичное упоминание слова «капли» представляется излишним и затрудняющим понимание вывода.
 8. В диссертации имеются текстовые опечатки.

Общая характеристика результатов работы

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в публикациях автора, включая их необходимое число в изданиях, рекомендованных ВАК для представления материалов к защите диссертаций, многократно обсуждалось на российских и международных научных конференциях.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование. Указанные замечания не отражаются на общей положительной оценке этой работы.

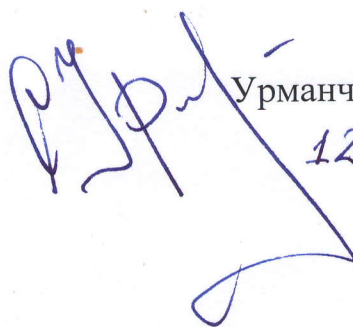
Полученные результаты являются новыми, достоверными и представляют несомненный научный интерес. Многочисленные фотографии в диссертационной работе могут служить прекрасной

иллюстрацией для будущих теоретических исследований, способствуя развитию новых направлений в гидродинамике.

Материалы диссертации могут быть использованы в университетских учебных курсах по гидродинамике, метеорологии, теоретическим основам химических технологий.

Считаю, что представленная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, Москва, «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ильиных Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук,
профессор



Урманчев С.Ф.

12.10.2017

Урманчев Саид Федорович

почтовый адрес: 450112, Уфа,

ул. Архитектурная, дом 20, кв. 17,

телефон: +7-927-233-99-02,

e-mail: said@anrb.ru

место работы: ФГБУН Институт механики им. Р.Р. Мавлютова

Уфимского научного центра Российской академии наук,

должность: главный научный сотрудник,

заведующий лабораторией «Механика многофазных систем»

Подпись Урманчева С.Ф. заверяю:

Ученый секретарь ИМех УНЦ РАН



Г.Р. Рафикова