

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК
(ИПМех РАН)
пр. Вернадского, д.101, к.1, г.
Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-
499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН
1037739426735
ИНН/КПП
7729138338/772901001**

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук
д.ф.-м.н.



*11.01.2019 №
11009/01-2171.2-40*

*На № 16.11.2018
N17400/10-М-191*

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Мизева Алексея Ивановича «Тепловая и
концентрационная конвекция Марангони в задачах с плоской и
цилиндрической геометрией» представленную на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук по специальности
01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Тема диссертации А.И. Мизева, посвященной изучению динамики и
структуры мелкомасштабных явлений, развивающихся в жидкостях со
свободной поверхностью под действием градиентов термодинамических
величин, своевременна, а результаты – актуальны и востребованы.
Собственно исследование может быть классифицировано как часть быстро

развивающегося раздела термогидромеханики неоднородных сплошных сред, включающего изучение динамики и структуры течений в условиях действия и нормальной силы тяжести, и физической невесомости, когда вклад гравитационной составляющей достаточно мал, а также поверхностного натяжения.

Данное направление быстро развивается как вследствие фундаментальности изучаемых задач, так и растущих технических и технологических запросов, обусловленных стремлением к экономии все более дорогих материалов и сопутствующей энергетики, что способствует развитию микро- и нано технологий. Здесь важно подчеркнуть, что значимые достижения не ограничиваются наномасштабами технологических элементов, а производимые материалов достаточно быстро принимают макроскопические размеры (в качестве примера можно указать использование нановолокон в крыльях и даже частях корпуса перспективных самолетов). Многие и наземные, и космические технологии здесь реализуются с использованием жидкостей с направленными потоками капель и газовых пузырьков.

Особый интерес представляет изучение свойств капель сложных жидкостей, и микронных и больших размеров, в фундаментальных гидродинамических исследованиях, определение влияния свойств контактных поверхностей на традиционно измеряемые параметры течений. Число работ по данной тематике, к которым можно отнести и рассматриваемую работу, исчисляется тысячами и продолжает активно расти.

Рецензируемая диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 239 наименований. Работа изложена на 277 страницах машинописного текста, содержит 84 рисунка и 6 таблиц.

Во **введении** показывается актуальность и новизна исследования, научная и практическая ценность результатов, сформулирована цель

диссертации, приведены методология и методы работы, приведены основные защищаемые положения, сведения об апробации результатов.

В **первой главе** представлены результаты экспериментального исследования структуры и устойчивости теплового (гравитационного и Марангони) конвективного течения на поверхности и в толще жидкости, которое создается затопленным локализованным тепловым источником. Автором убедительно показано развитие нестационарности положения деформируемой свободной поверхности, которое сопровождается развитием упорядоченных волновых форм, включающих кольцевые, одно- и многофокусные спиральные вращающиеся течения (в опытах подтверждено отсутствие асимметрии направления вращения).

Предложенный физический механизм формирования поверхностной волны, включающий учет деформации поверхности сдвиговым течением в области над источником, подтвержден тонкими опытами. При визуализации течения авторы заметили концентрацию частиц в некоторых фазах волны, облегчающую возможность получения количественных данных о значениях скорости и геометрии структур.

Во **второй главе** приведены данные результаты экспериментального исследования структуры и устойчивости течения на поверхности и в толще жидкости, которое создается затопленным локализованным источником вещества. Здесь использование лазеров с разной длиной волны в интерферометре, светового ножа с применением светофильтров-насадок на объективах видеокамер, контактных датчиков позволяло проводить независимые одновременные наблюдения распределения концентрации поверхностно – активных веществ и общей картины течения. Измерение скорости конвективного течения, выполненное с помощью термоанемометра, позволили установить условия формирования другого, также достаточно регулярного режима течения и определить его параметры. По совокупности данных построена универсальная зависимость безразмерных величин – периода колебаний от обратной глубины

погружения источника (здесь в автореферате не указан нормирующий параметр для глубины – диаметр капли).

Анализ природы расхождения полученных и ранее опубликованных данных и постановка контрольных опытов убедительно доказывает преимущества разработанной методики по сравнению с известной и свидетельствует о высокой квалификации автора работы как экспериментатора.

В третьей главе изучены структуры и динамика концентрационного течения Марангони от локализованного источника массы, расположенного на межфазной поверхности, содержащей адсорбированный слой растворимого и нерастворимого поверхностно-активного вещества.

А.И. Мизеву удалось визуализировать тонкие детали картины течения различных типов – и радиального, и ячеистого вихревого. Проведено большое число тонких экспериментов с различными веществами, результаты которых сведены в единые графики.

В четвертой главе приводятся данные экспериментального изучения взаимодействия термокапиллярного течения с адсорбированным слоем нерастворимого сурфактанта в узкой ячейке – фактически изучение взаимодействия течений, локализованных на поверхности и развивающихся в толще жидкости. Постановка опытов позволяет провести количественное сравнение с ранее выполненными независимыми расчетами в «одномерном» и «двумерном» приближениях таких течений. В ходе работы А.И. Мизев предложил собственный подход к оценке сравнительного влияния конвективного и термокапиллярного механизмов переноса тепла, показавший заметные преимущества по сравнению с известными.

В пятой главе изучено влияние практически важного наклонного градиента температуры на картину термоконвективных течений. Ранее основное внимание уделялось более простым специфическим условиям, когда градиент температуры перпендикулярен (задача Бенара-Марангони) или параллелен (течение Марангони) поверхности жидкости. В ходе

детальных экспериментов визуализированы тонкие структуры возникающих течений различного типа («дрейфующие» ячейки Бенара-Марангони, системы продольных валов и комплексов регулярных дрейфующих ячеек). Проведена классификация и построена карта наблюдаемых режимов, реконструирована геометрия течения.

В шестой главе исследован процесс концентрации взвешенных микрочастиц в тепловой конвекции Марангони, в жидкой прослойке между двумя теплопроводящими цилиндрами, один из которых для удобства наблюдений в ряде опытов был изготовлен из сапфира. Детально изучена динамика формирования течения и реструктуризации картины распределения взвешенной твердой фазы. Специально отмечено, и это важно, что накопление частиц в выделенных участках начинается одновременно с установлением сравнительно крупномасштабного течения, для которого прослежена зависимость характерного времени от плотности материала частиц. Приведена карта режимов.

В целом диссертация содержит большой объем данных, полученных при проведении тщательно продуманных и аккуратно выполненных экспериментов, которые дополнены физическим анализом возможных механизмов формирования и темпа установления тонких линейчатых структур. Каждая глава содержит выводы, что облегчает восприятие материала.

Следует отметить, что хотя автор концентрируется на изучении различных форм конвекции Марангони, изучаемый процесс филаментизации структур носит более универсальный характер. Тонкие структуры наблюдаются во всех типах течений жидкостей и газов во всем доступном для наблюдений диапазоне масштабов. В этой связи рецензируемая работа имеет не только локальное «микромасштабное», но и более широкое, «общегидродинамическое» значение.

Работа производит благоприятное впечатление тщательностью постановки опытов, наличием большого объема данных опытов,

выполненных на современном научном оборудовании, стремлением провести физический анализ наблюдаемых явлений.

Основные результаты являются новыми и по содержанию, и по форме изложения. Их достоверность подтверждает воспроизводимость данных с применением современной аппаратуры и интегрированной методики опытов, рациональной оценкой погрешности, согласием с результатами ранее выполненных экспериментальных и теоретических исследований в диапазонах совпадения физических условий опытов и, что особенно важно, методически обоснованными дополнительными экспериментами, поясняющими причины расхождения.

Фотоматериалы и видеофильмы представляют самостоятельный интерес. Автору можно порекомендовать сделать их общедоступными с использованием современных информационных ресурсов в рамках научных, и общественно-популярных изданий.

Один из авторов данного отзыва имел возможность лично ознакомиться с оборудованием, методикой, практическими приемами проводимых А.И. Мизевым исследований и удостовериться в тщательности соблюдения всех требований, обеспечивающих получение надежных результатов.

Основные результаты работы опубликованы в отечественных и зарубежных журналах высокого уровня (Изв. РАН. Механика жидкости и газа; *Advances in Colloid and Interface Science*, *The European Physical Journal: Special Topics*; *Physics of Fluids*), были представлены и получили одобрение на многочисленных общероссийских и международных конференциях.

В числе недостатков работы следует прежде всего отметить отсутствие дефиниции «Экспериментальное исследование...» в названии диссертации. В тексте автор многократно подчеркивает именно указанную направленность проводимых исследований, что было бы желательно отразить и в названии. Разработанные и приведенные автором физические механизмы наблюдаемых явлений также нуждаются и в адекватном математическом оформлении.

Постановка задачи предусматривает изучение устойчивости течений. Но само содержание понятия «устойчивость» кажется не вполне соответствующим духу проводимого изучения формирования структур и их непрерывной трансформации в конвекции Марангони. В приводимых явлениях нет стационарной составляющей, изучается процесс непрерывного преобразования открытой системы.

В тексте диссертации термин «энергия» удалось найти только один раз, и то в контексте «энергия волны». Но в современной теории жидкостей, закон сохранения (баланса) энергии равноправно используется наряду с законами сохранения вещества и импульса. Более того, сама плотность среды определяется как производная свободной энтальпии. Именно исходная структурная неоднородность распределения полной энергии жидкости (в частности, привязки доступной потенциальной поверхностной энергии к тонкому слою), пространственная неоднородность диссипации энергии движения, возможность передачи энергии с различными скоростями и обеспечивают принципиальную возможность формирования структур. Тонкие компоненты структур течений также могут быть описаны математически как часть полных решений системы фундаментальных уравнений. Судя по списку литературы, некоторые работы по энергетике течений, уравнениям состояния и, в частности публикации сотрудников ИПМех РАН по структуризации течений, ускользнули от внимания автора.

Стиль письма тяжеловесный, текст плохо структурирован. При желании можно найти стилистические и грамматические погрешности.

Но все высказанные замечания, часть из которых можно рассматривать как рекомендации к проведению последующих работ, не влияют на высокую положительную оценку диссертации А.И. Мизева.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Название соответствует сути работы.

Таким образом, диссертация А.И. Мизева в целом представляет оригинальный научный труд, в котором содержится результаты

систематических исследований динамики и структуры капиллярно-конвективных течений и теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее существенное значения для развития механики жидкостей, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 24 сентября 2013 г. № 842, Москва, "О порядке присуждения ученых степеней"), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв на диссертационную работу Мизева А.И. обсужден и одобрен на заседании семинара "Механика жидкостей" ИПМех РАН (протокол №115 от 19.12.2018).

Заведующий лабораторией
механики жидкостей ИПМех РАН
д.ф.-м.н., профессор

Юлий Дмитриевич Чашечкин

Ведущий научный сотрудник
лаборатории механики
технологических процессов ИПМех РАН
д. ф.-м.н.

Валентин Александрович Городцов

Подписи Ю.Д. Чашечкина и В.А. Городцова удостоверяю

И.о. ученого секретаря ИПМех РАН к.ф.-м.н.

М.А. Котов"

