

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Краузиной Марины Тахировны «Свободная конвекция магнитной жидкости в шаровой полости в гравитационном и магнитном полях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность проблемы

В диссертационной работе Краузиной М.Т. исследуется свободная конвекция магнитной жидкости в сферической полости при разнообразных постановках тестовых опытов, отличающихся взаимной ориентацией градиента температуры и внешнего однородного магнитного поля. В работе представлены результаты трудоемких экспериментальных исследований, сопровождающиеся исчерпывающей, наглядной интерпретацией, что позволяет раскрыть тему влияния многокомпонентности жидкости-носителя на термомагнитную конвекцию вблизи порога неустойчивости в магнитных жидкостях. Представленный материал позволяет рассчитать поток тепла в теплопроводном и конвективном режимах в устройствах и системах охлаждения, использующих магнитную жидкость в качестве рабочего тела. **Тема диссертации является актуальной**, а появление работы – своевременным.

На сегодняшний день опубликовано большое число теоретических и незначительное (примерно в 20 раз меньшее) количество экспериментальных работ, в которых исследуется термомагнитная конвекция в магнитной жидкости. Тема исследования не является уникальной, однако это не влияет на значимость и актуальность работы, так как изучаемая конвекция сопровождается разносторонними процессами седиментации, магнитофореза и агрегации коллоидных частиц, что сильно усложняет исследования, а иногда приводит к появлению противоречивых теоретических предсказаний и экспериментальных данных. В диссертации Краузиной М.Т. рассмотрен ряд оригинальных, имеющих практическое и методологическое значение вопросов: влияние многокомпонентности жидкости-носителя магнитной жидкости на характер возникновения конвективного течения (жесткий режим возбуждения); исследованы автоколебательные режимы конвекции вблизи порога неустойчивости; изучено стабилизирующее и дестабилизирующее влияние магнитного поля на конвекцию.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы на 219 позиций; изложена на 134 страницах, содержит 58 рисунков и 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность разрабатываемой темы, сформулированы цель, новизна, научная и практическая значимость работы, апробация работы и основные положения, выносимые на защиту.

В 1-ой главе проведён обзор работ, в которых рассматриваются особенности тепло- и массопереноса в наножидкостях в целом и магнитных жидкостях в

частности. Обсуждаются реализующиеся в эксперименте механизмы тепло- и массопереноса в магнитной жидкости (магнитные пондеромоторные силы, термодиффузия, магнитофорез, гравитационная седиментация), а также управляющие безразмерные параметры: тепловое, магнитное и концентрационное числа Рэлея, необходимые для описания конвекции в реальной магнитной жидкости.

Во 2-ой главе описан объект исследований и экспериментальная установка для изучения конвекции в магнитной жидкости. Приведено обоснование выбора сферической геометрии задачи, приведены оценки безразмерных параметров, определяющих размеры и конструкцию измерительной ячейки, подробно проанализировано распределение температуры при различном соотношении теплопроводностей жидкости, заполняющей сферическую полость, и материала стенок ячейки. Приводятся результаты тестовых опытов и подробное описание способа цифровой обработки температурных измерений.

В 3-ей главе приведены результаты исследования термогравитационной конвекции в магнитной жидкости (в нулевом магнитном поле) и трансформаторном масле. Исследуется гидродинамическая устойчивость указанных жидкостей, описываются различные ситуации мягкого и жесткого возбуждения конвективного течения. Докладывается, на мой взгляд, главный результат диссертации: влияние многокомпонентности жидкости-носителя на характер конвективного течения вблизи порога неустойчивости. Сравнение опытов, проведенных с однородными и неоднородными (в результате гравитационной седиментации) по концентрации образцами наглядно показывает важную роль жидкости-носителя в процессе потери гидродинамической устойчивости. Этот результат акцентирует роль жидкости-носителя в процессах тепло- массопереноса в магнитных коллоидах, так как ранее жидкость-носитель воспринималась научным сообществом как «жидкая матрица», определяющая рабочий диапазон температур (замерзания, кипения и т.д.) коллоида и его вязкость. Результаты Краузиной М.Т. перекликаются с примечательными измерениями по светорассеянию в магнитных жидкостях, выполненных д.ф.-м.н. Ериным К.В. (СКФУ, г. Ставрополь), которые ранее выявили процессы обратимой агрегации частиц при разбавлении исходного коллоида чистой жидкостью-носителем. Оба эффекта невозможно предсказать без рассмотрения термодинамики многокомпонентной смеси, её динамики в гравитационном поле. С этой целью отдельно исследуется термоконвекция в неочищенном и центрифугированном трансформаторном масле. Показано, что очистка масла от тяжелой фракции устраняет жесткий режим возбуждения конвекции.

В 4-ой главе изучается конвекция магнитной жидкости в гравитационном и однородном магнитном поле. Проведены разнообразные опыты при различной ориентации градиента температуры и силовых линий магнитного поля между собой и по отношению к силе тяжести. Отмечен ряд эффектов, а именно: стабилизирующее влияние вертикального однородного магнитного поля на

конвекцию при подогреве полости снизу; возможность значительной интенсификации теплообмена вертикальным магнитным полем при подогреве полости сверху; ориентация конвективного вала вдоль силовых линий магнитного поля; подавление конвекции горизонтальным магнитным полем при боковом подогреве ячейки.

Оценка новизны и достоверности

В диссертационной работе установлены новые и подтверждены предсказанные ранее закономерности термомагнитных конвективных течений в магнитных жидкостях. Впервые показано, что причиной жесткого возбуждения конвекции в стратифицированном коллоиде является не только седиментация частиц, но и стратификация жидкости-носителя. Впервые проведены продолжительные (до 1 месяца) опыты по изучению конвективных колебательных режимов вблизи порога неустойчивости в шаровой полости. Показана возможность как стабилизирующего, так и дестабилизирующего влияния вертикального однородного магнитного поля на теплоперенос в магнитной жидкости при различном нагреве полости.

Достоверность большинства результатов диссертационного исследования обеспечивается удачными тестовыми экспериментами и использованием типовых методик магнитных и теплофизических измерений, апробированных и доведенных до совершенства несколькими поколениями экспериментаторов физического факультета ПГНИУ.

Практическая значимость

Диссертация посвящена вопросам тепло- массопереноса в магнитных жидкостях. Результаты исследования могут быть использованы при конструировании магнитоуправляемых систем охлаждения, предназначенных для работы в условиях низкой гравитации. Практическая значимость диссертации обусловлена насущной проблемой отвода тепла от высокопроизводительных электронных микросхем в условиях микрогравитации.

Замечания

По содержанию диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1. При описании погрешностей измерений приводятся данные, вызывающие сомнения. В частности, на стр. 39 указывается, что суммарная погрешность измерений напряженности поля не превышала 2%. Это ниже погрешности применявшегося прибора Ш1-8, который по паспорту имеет погрешность $\pm(1.5+0.01/V_x)\%$, где V_x – измеряемое значение индукции в единицах Тесла. В эксперименте использовались магнитные поля порядка 10 кА/м, что соответствует погрешности измерений магнитного поля примерно $\pm 2.3\%$. Второй источник погрешности измерений связан с использованием встроенных индикаторов в источниках питания GPR-11H30D, GPS-3030DD для измерения силы тока в обмотках катушек Гельмгольца. Автор приводит погрешность этих приборов (стр. 38) равную 1.7%, но обоснование этой погрешности не поясняется в тексте. Невозможно найти оправданий такому решению, когда проблема полностью

устранялась недорогим амперметром или измерительным шунтом с вольтметром. Реальная точность измерений была ниже заявленной и не превышала 5-6%.

2. Автор не делает различий между чувствительностью прибора и погрешностью измерений. Так, на стр. 38 указывается, что чувствительность использованного прибора «Термодат» составляет 0.01 К, и далее на стр. 47 говорится, что «абсолютная погрешность измерения разностей температур между теплообменниками» равна 0.02 К. Это явное необоснованное превышение точности, требующее значительной аргументации и дополнительных тестовых опытных проверок, тем более, что в тексте диссертации отсутствуют сведения даже о проверке термопар. Так, на стр. 35 сообщается, что «коэффициент термо-ЭДС термопар составлял 40 мкВ/К», а информация об опытной проверке этого коэффициента отсутствует, что недопустимо, если претендовать на заявленную точность измерений. Можно предположить, что реальные измерения производились не точнее 0.1 К.

3. В диссертации неоднократно встречается мысль, что на сегодняшний день неизвестны коэффициенты диффузии, термодиффузии и вязкости в магнитных жидкостях (например, на стр. 27, 28). Предположительно, это связано с тем, что автор не знаком с работами В.М. Бузмакова: в списке литературы присутствует лишь одна его работа под номером 75, а его главные труды не упоминаются. При этом доступны статьи в журнале «Магнитная гидродинамика», а именно «Измерение коэффициентов диффузии и анализ дисперсного состава магнитных коллоидов» (1986), и «О концентрационной зависимости вязкости магнитных жидкостей» (1991). Примечательно, что В.М. Бузмаков – автор методики одновременного измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в жидких растворах, всю жизнь работал в Перми, в том числе по совместительству на кафедре «Общей физики» ПГНИУ.

4. На стр. 28 присутствует неподкрепленная ссылками фраза «несвязанные молекулы олеиновой кислоты, применяемой в качестве стабилизатора и достигающие по объемному содержанию 10%, также способствуют термодиффузионному перераспределению». Можно утверждать, что *стабильных* магнитных жидкостей с объемной долей ПАВ 10% не бывает, так как ПАВ в подобных концентрациях ведет себя как коагулянт и вызывает мгновенное выпадение агрегированных частиц в виде осадка, что демонстрировалось в работах, проводившихся под руководством проф. Диканского Ю.И.

5. В работе многократно проводится гармонический анализ температурных сигналов с термопар (записанных электронным самописцем) методом дискретного преобразования Фурье (ДПФ). На термограммах (например, Рис. 3.9 на стр. 64) виден случайный характер поведения системы, находящейся в состоянии неустойчивого равновесия: колебания «замирают» и возобновляются неким случайным образом. Так, если в первые 16 суток (из общих 32-ух суток измерений) колебания прекращались несколько раз на продолжительное время (время «простоя» составляло несколько суток), то в последующие 16 суток таких

перерывов не наблюдалось. Тем не менее, утверждается, что в спектре сигнала присутствует колебание с периодом в 16 суток. Возникают следующие вопросы: не является ли этот результат артефактом применения процедуры ДПФ? Не является ли этот интервал кратным истинному периоду колебаний? Какой физический смысл у этих периодов, если это, конечно, не случайные величины, характеризующие систему в состоянии неустойчивого равновесия (на пороге развития конвекции)? Если утверждается, что все вычисленные периоды являются неотъемлемым свойством колебательной системы, это утверждение должно быть как-то обосновано. К предположению о том, что регистрируется кратный период, можно добавить следующую информацию из текста диссертации: на стр. 61, 62 приводится термограмма с ярко выраженной периодичностью и приводятся (среди прочих) следующие значения периодов 3.7, 1.9, 1.0 (суток), относящихся друг к другу почти как целые числа 4:2:1. Эта информация нуждается хотя бы в качественном пояснении.

6. В задачах о гидродинамических течениях в каналах и полостях принято производить оценку толщины пограничного слоя и сравнивать её с характерным размером задачи. Такой оценки не хватает в представленной диссертации.

7. Формальные замечания по тексту диссертации:

- Текст диссертации часто излагается непоследовательно, хотя и в необходимом объеме;
- В тексте встречаются неудачные выражения: на стр. 7 «ультратонкие частицы» (подразумевается, видимо, «мелкодисперсные частицы»); на стр. 34 «шаровое вкрапление» (предпочтительнее использовать термин «шаровая полость»); на стр. 37 «струйный ультратермостат марки КРИО-ВТ-01» (указанное оборудование на сайте производителя называется более привычным способом – «термостат жидкостный низкотемпературный»);
- В тексте диссертации встречаются немногочисленные опечатки, орфографические и грамматические ошибки: (стр. 6) «...приводит к незатухающим перемежающимся колебаниям, связанных с...»; (стр. 29) «**нев**сегда»; (стр. 29) «...применяют магниты, индуцирующим поля.»; (стр. 53) «При жесткой потери неустойчивости...»; (стр. 88) «переход к теплопроводному состояния происходил...»

Однако отмеченные недостатки несколько не снижают научного значения диссертации и не уменьшают ценности проделанной Краузиной М.Т. экспериментальной работы. Представленная диссертация является завершённой научно-исследовательской работой. Диссертация имеет существенное значение для развития науки о физико-химических свойствах высокодисперсных магнитных наноматериалов.

Материалы работы апробированы на научных конференциях Всероссийского и Международного уровня. Основные положения работы полностью отражены в **опубликованных работах**, 6 (Шесть) из которых опубликованы в журналах,

входящих в систему цитирования Web of Science, что является красноречивым доказательством высокого уровня представленных научных результатов мирового уровня.

Заключение

Диссертационная работа **Краузиной Марины Тахировны** на тему «Свободная конвекция магнитной жидкости в шаровой полости в гравитационном и магнитном полях» является завершенной научной квалификационной работой, и соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. Диссертация соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России, к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, **Краузина Марина Тахировна**, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Дата: 25.02.2019 г.

Официальный оппонент, заведующий лабораторией «Динамики дисперсных систем» Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИМСС УрО РАН»), кандидат физико-математических наук, доцент

Иванов Алексей Сергеевич



Подпись А.С. Иванова заверяю.

Подтверждаю, что А.С. Иванов не входит в состав членов диссертационного совета Д 004.036.01, утвержденных приказом Минобрнауки России N 87/нк от 26 января 2018 г.

Ученый секретарь ИМСС УрО РАН, к.ф.-м.н.  Юрлова Наталья Алексеевна

Я, Иванов Алексей Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

e-mail: lesnichiy@icmm.ru, Тел.: 8-912-78-658-36

Почтовый адрес:

614013, г. Пермь, ул. Акад. Королёва, 1

Лаборатория «Динамики дисперсных систем» ИМСС УрО РАН,

web-сайт: <http://www.icmm.ru/>