

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
СИДОРОВА АЛЕКСАНДРА СЕРГЕЕВИЧА «**Термомагнитная конвекция в вертикальном слое магнитной жидкости**», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа А.С. Сидорова имеет экспериментальную направленность и посвящена исследованию термомагнитной и термогравитационной конвекции магнитной жидкости в плоском вертикальном слое, обогреваемом с широкой боковой стороны. Результаты диссертационного исследования вносят вклад в создание фундаментальных основ конвекции магнитных жидкостей. Полученные в диссертации результаты необходимы для прогнозирования поведения магнитных жидкостей при разработке и усовершенствовании магнитожидкостных датчиков и теплообменных устройств, для управления процессами теплопереноса в малогабаритных электромагнитных приборах. Все это свидетельствует об актуальности проведенных в диссертации исследований.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного материала, заключения и списка цитируемой литературы из 147 наименований. Основные научные результаты диссертации представлены в научной печати в 35 публикациях, в том числе, в 5 статьях в регулярных научных журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых ведущими мировыми реферативными базами и индексами цитирования. Анализ опубликованных автором работ по теме диссертации позволяет сделать вывод о том, что все основные результаты работы достаточно полно представлены в научной литературе.

Первая глава диссертации имеет обзорный характер. В ней рассматриваются экспериментальные и теоретические исследования по конвекции и конвективной неустойчивости магнитных жидкостей, а также приводится обзор публикаций, связанных с термомагнитной конвекцией.

Во второй главе описаны экспериментальные методики и установки, использованные для измерений, приведены основные характеристики магнитных жидкостей, которые использовались в экспериментах.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию устойчивости конвективных течений в вертикальном слое магнитной жидкости, обогреваемом с широкой боковой стороны и помещенном во внешнее

магнитное поле. В случае, когда магнитное поле направлено перпендикулярно слою магнитной жидкости, по мере увеличения напряженности магнитного поля в экспериментах последовательно наблюдались первичное подъемно-опускное течение, стационарные вертикальные термомагнитные валы и суперпозиция стационарных и бегущих валов. Построена экспериментальная карта термомагнитной неустойчивости термогравитационного течения в осях координат: перепад температур между вертикальными широкими границами слоя и напряженность магнитного поля. Наблюдаемые в эксперименте структуры течений согласуются с известными из литературы теоретическими расчетами.

Изучено поведение конвективных течений в случае, когда вектор магнитного поля лежит в горизонтальной плоскости и направлен под углом α по отношению к широкой вертикальной границе слоя. Экспериментально показано, что в такой системе есть три управляющих параметра - перепад температур, напряженность магнитного поля и угол наклона поля - меняя которые можно добиться стабилизации или дестабилизации термогравитационного течения. Эти три параметра использовались для построения обобщенной диаграммы неустойчивости термогравитационного течения (Рис. 3.28), экспериментальные значения на которой расположились вдоль прямой линии. Ниже прямой находится область устойчивого, стационарного подъемно-опускного течения, а сверху от линии расположена область существования термомагнитных валов.

В четвертой главе изучено влияние концентрационных неоднородностей на развитие термогравитационной и термомагнитной конвекций. Обнаружено возникновение температурных периодических вихрей в слое магнитной жидкости, обогреваемой сбоку при небольших перепадах температур между вертикальными широкими границами слоя. Такое поведение объяснено термофорезом частиц поперек тонкого слоя магнитной жидкости, который приводит к медленной генерации в слое вертикального градиента концентрации с последующим быстрым периодическим размыванием накопленных неоднородностей. Проведен ряд экспериментов с магнитными жидкостями, в которых различными способами организованы начальные вертикальные градиенты концентраций. Экспериментально обнаружено, что в процессе развития термогравитационной конвекции переходные конвективные течения представляют собой систему горизонтальных валов. Проанализированы скорости движения, температуры и направление закрутки этих валов. При термомагнитной конвекции в предварительно стратифицированной жидкости

изучено поведение образующихся термомагнитных вертикальных валов, которые теряют устойчивость и распадаются на сложные мелкомасштабные структуры.

В целом, диссертация оставляет приятное впечатление. В ней подробно описана техническая сторона используемых экспериментальных методов. В третьей и четвертой главах проведено обсуждение полученных эффектов, выполнено сопоставление экспериментальных результатов с известными из литературы теоретическими предсказаниями и численными расчетами. Результаты диссертации являются новыми и достоверными. Автореферат полно передает содержание диссертационной работы.

По диссертационной работе имеются следующие замечания и вопросы.

- В первой главе проведен обзор литературы по тематике диссертационной работы. Цитированы 69 публикаций, но только 2 из них были опубликованы за последние 5 лет. С чем связана такая подборка литературы? Говорит ли это о том, что интерес к исследованию конвективных течений угасает в мировом научной повестке или это свидетельствует о том, что основные результаты по данной тематике были получены в конце прошлого столетия?

- На с. 4 диссертант обсуждает различные механизмы релаксации магнитного момента частиц в магнитной жидкости (неелевский и броуновский механизмы) и пишет: «В наших экспериментах с МЖ намагничивание полностью определяется ориентационным механизмом поляризации, поскольку использовались только постоянные магнитные поля». Из текста следует, что ориентационный механизм - это броуновская релаксация магнитного момента. Непонятно, почему пренебрежение неелевской релаксацией объясняется использованием постоянного магнитного поля.

- Во второй главе диссертации подробно рассматриваются основные характеристики двух типов магнитных жидкостей (Табл. 1 с. 19), которые в дальнейшем используются в экспериментах. Однако в тексте диссертации нигде не уточняется какая именно жидкость была использована в том или ином эксперименте, за исключением раздела 4.1, где в качестве рабочей жидкости была выбрана магнитная жидкость на основе ундекана и причины такого выбора объяснены (с. 99, последний абзац). Хотелось бы уточнить, какая именно жидкость была использована в каждом из описанных в диссертации экспериментах. Были ли отличия в результатах при использовании разных магнитных жидкостей? Представленные карты

неустойчивости (Рис. 3.7, 3.8), значения критических параметров (Рис. 3.22) и обобщенная диаграмма термомагнитной неустойчивости термогравитационного течения (Рис. 3.28) справедливы только для одной из рассматриваемых магнитных жидкостей?

• В главе 2 диссертант подробно описывает два различных метода визуализации, которые используются в работе. Затем, для постановки эксперимента используется один из описанных методов. С чем связан выбор того или иного метода для проведения конкретного эксперимента? Воспроизводятся ли результаты измерений, полученные двумя различными способами?

• В разделе 4.1 на с. 100 автор пишет «Периодические переходы между двумя ветвями конвекции, так называемые перебросы, наблюдались во всех образцах». Однако описание того, сколько было образцов, отличались ли они между собой, в тексте отсутствуют. Хотелось бы получить комментарии диссертанта по этому вопросу.

• В Табл. 1 на с. 19 приведен средний радиус частицы. Что в данном случае понимается под радиусом частицы: радиус магнитного ядра, или ядро вместе с немагнитным слоем, или ядро вместе с немагнитным слоем частицы и оболочкой ПАВ? При расчете свойств системы (например, коэффициент K на Рис. 3.2 с. 56) использовалось предположение, что магнитная жидкость монодисперсная или рассматривалось распределение магнитных ядер частиц по размерам?

• В главе 4 приводится сравнение экспериментальных результатов с численными расчетами. Диссертант пишет (с. 117): «В теоретическом численном расчете данной задачи были получены горизонтальные валиковые структуры». Хотелось бы узнать детали этого численного расчета. Он проводился диссертантом? Если да, то какие методы для этого использовались.

• На с. 120 диссертант пишет: «Начальные неоднородности концентрации МЖ появлялись в слое благодаря седиментации частиц и их агрегатов при отсутствии конвекции, когда внешние температурные градиенты не задавались». Откуда следует, что в исследуемой магнитной жидкости есть агрегаты феррочастиц?

• Чтение диссертации осложняется использованием одних и тех же обозначений для разных параметров, например, буквой λ на с. 23 обозначается декремент затухания, а на с. 35 – теплопроводность пластины; буква α используется на с. 103 для коэффициента $Core$, а в главе 3 она

обозначает угол наклона магнитного поля. Кроме того, в тексте встречаются неточности, например, сбой нумерации формул на с. 52 (перед формулой (3.9) идет ссылка на формулы (3.11) и (3.12)); на Рис. 4.8 с. 118 неаккуратно сделаны подписи осей координат.

Несмотря на немалое число комментариев, необходимо заметить, что имеющиеся замечания не снижают научной ценности результатов, а относятся, скорее, к стилистике изложения материала или носят характер рекомендаций для дальнейшего развития научной работы в данном направлении.

Подводя итог, следует еще раз выразить мнение о том, что:

- диссертационная работа А.С. Сидорова содержит новые научные материалы экспериментального характера, совокупность которых можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение в механике жидкости, газа и плазмы;
- диссертация удовлетворяет требованиям пункта 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и, несомненно, соответствует специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы;
- автор достоин присуждения ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Елфимова Екатерина Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,

Заведующий кафедрой теоретической и математической физики

Института естественных наук и математики

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

доктор физ.-мат. наук, доцент,

620000 Екатеринбург, пр. Ленина, 51, ауд. 602,

<http://urfu.ru>, тел. (343) 389 94 77

E-mail: Ekaterina.Elfimova@urfu.ru

24 октября 2019 г.



Елфимова Екатерина Александровна
Заверяю *Нас-н 0200 Рмф*

Елфимовой Е.А.
/Вихренко Т.С./