

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор — начальник Управления
научной политики и организации научных
исследований МГУ,
доктор физико-математических наук,
профессор

Федянин Андрей Анатольевич



А. Федянин
«*16*» *ноября* 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» о диссертационной работе Краузиной Марины Тахировны «Свободная конвекция магнитной жидкости в шаровой полости в гравитационном и магнитном полях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы. Работа Краузиной М.Т. посвящена экспериментальному исследованию термогравитационной и термомагнитной конвекции магнитной жидкости в шаровой полости. Данная проблема содержит ряд фундаментальных задач, активно изучаемых в последнее десятилетие: тепло- и массоперенос в наножидкостях, влияние седиментации и термодиффузии в коллоидных растворах на конвективное движение, нерегулярные режимы вблизи порога конвекции. Вместе с тем, использование наножидкостей в качестве теплоносителя является перспективным способом увеличения интенсивности теплообмена в системах охлаждения, применяемых, например, в электронике, автомобилестроении, атомных электростанциях и солнечных батареях. Кроме того, в магнитных жидкостях представляет интерес термомагнитный механизм конвекции – когда управление теплообменом осуществляется магнитным полем. Это особо актуально в случаях, когда термогравитационная конвекция затруднена или невозможна, например, в условиях микрогравитации и в микроэлектронике.

В диссертационной работе Краузиной М.Т. выбрана сферическая геометрия – шаровая полость. В отличие от сложных течений, реализуемых в плоских слоях, в шаровой полости возникает одна конвективная ячейка. Это

позволяет упростить изучение конвекции, особенно в непрозрачной магнитной жидкости, в которой визуализировать течение достаточно трудно.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней впервые:

1. Показано, что в отсутствии магнитного поля причиной жесткого возбуждения конвективного течения стратифицированной магнитной жидкости является и стратификация жидкости–носителя (трансформаторное масло).
2. Проведены продолжительные (до 1 месяца) опыты по изучению конвективных колебательных режимов в магнитной жидкости на основе трансформаторного масла и, отдельно, в ее жидкости–носителе вблизи порога механического равновесия в шаровой полости, когда магнитное поле отсутствует. Показано, что наличие твердых частиц в магнитной жидкости приводит к незатухающим перемежающимся автоколебаниям, связанных с поворотом оси вращения вихря жидкости, в то время как в промышленном трансформаторном масле колебания со временем затухают. В экспериментах же с очищенным от тяжелой фракции трансформаторном масле колебательных режимов не обнаружено.
3. Показана возможность влияния как стабилизирующего, так и дестабилизирующего вертикального однородного магнитного поля на теплоперенос магнитной жидкости в шаровой полости в зависимости от условий нагрева. Теплоперенос при нагреве сверху в приложенном вертикальном магнитном поле увеличивается, а при нагреве снизу уменьшается.
4. Помимо ориентационного эффекта горизонтального однородного магнитного поля, оказываемого на одновихревое течение магнитной жидкости в шаровой подогреваемой снизу полости (ось вращения вихря становится параллельна полю), впервые обнаружено уменьшение потока тепла в присутствии такого поля.
5. Установлено, что при фиксированном направлении оси вращения вала, которое реализуется при обогреве сбоку, горизонтальное однородное магнитное поле уменьшает поток тепла почти одинаково при различных взаимных ориентациях градиента температуры и вектора напряженности магнитного поля.

Научная и практическая значимость результатов диссертации обусловлена тем, что полученные данные о возникновении конвекции и ее режимах в магнитной жидкости, и также о влиянии на них однородного

магнитного поля, важны с фундаментальной точки зрения для построения более совершенных теоретических моделей теплопереноса в коллоидах, наножидкостях и магнитополяризуемых средах. Результаты исследования могут быть использованы при разработке теплообменных устройств, содержащих в качестве теплоносителя наножидкости. Понимание влияния приложенного магнитного поля на теплоперенос необходимо для создания и контроля работы устройств, использующих термомагнитный механизм конвекции.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на российских и международных научных конференциях. Результаты диссертации также были представлены и обсуждены на научных семинарах.

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 25 работах, 6 из которых – в журналах, рекомендованных ВАК.

Достоверность результатов обосновывается тщательной проработкой методики измерений, воспроизводимостью результатов и также подтверждается сравнением некоторых результатов с данными других исследователей.

Оценка содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обоснованы актуальность, новизна и научная значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования.

Первая глава посвящена описанию современного состояния научной литературы по тепло- массопереносу в наножидкостях и магнитных жидкостях. Также сделан обстоятельный обзор литературы по термомагнитной конвекции в магнитополяризуемых средах.

Во **второй главе** описана методика проведения экспериментов по конвекции магнитной жидкости в шаровой полости. Приведено подробное описание экспериментальной установки. Изложена методика измерения тепловых потоков, обсуждается вопрос вычисления погрешностей измеряемых величин. Указаны способы обработки температурных сигналов на основе Фурье- и вейвлет- анализов.

В **третьей главе** рассматривается термогравитационная конвекция магнитной жидкости и ее жидкости-носителя – трансформаторного масла. Анализируются колебательные режимы, возникающие вблизи порога механического равновесия. Проведено сравнение автоколебаний в магнитной жидкости и трансформаторном масле. Представлено исследование

возникновения конвекции в стратифицированных магнитной жидкости и трансформаторном масле.

В **четвертой главе** приведено изучение влияния однородного магнитного поля на устойчивость механического равновесия и конвективное течение магнитной жидкости в шаровой полости. Обнаружено, что вертикальное магнитное поле может усиливать или ослаблять теплоперенос в зависимости от контролирующих параметров. Горизонтальное магнитное поле не только ориентирует ось вращения вихря, но и уменьшает теплоперенос при подогреве снизу.

В **заключении** приведены итоги работы, и также рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Следует отметить полученные в диссертации **основные результаты**:

1. Показано влияние наличия твердых частиц и их агрегатов, а также тяжелых составляющих, содержащихся в жидкости–носителе, на возбуждение автоколебаний конвективного течения (вращений оси вихревого течения в горизонтальной плоскости) в шаровой полости с магнитной жидкостью или жидкостью-носителем (трансформаторным маслом). Также показано, что причиной жесткого возбуждения конвективного течения является стратификация магнитной жидкости или стратификация трансформаторного масла. В экспериментах было обнаружено, что в центрифугированном трансформаторном масле автоколебания не возникают.
2. В ограниченной сверху области значений надкритичного перепада температур экспериментально обнаружены длительные автоколебания конвективного течения магнитной жидкости и автоколебания конвективного течения жидкости–носителя, которые, в отличие от магнитной жидкости, прекращаются через несколько часов.
3. Экспериментально обнаружено, что вертикальное однородное магнитное поле уменьшает безразмерный поток тепла при нагреве снизу шаровой полости с магнитной жидкостью и увеличивает безразмерный поток тепла при нагреве сверху, создавая термомагнитную конвекцию.
4. Показано, что в горизонтальном однородном магнитном поле ось вращения вихря конвективного течения при подогреве снизу ориентируется вдоль поля, а поток тепла уменьшается по сравнению со случаем отсутствия поля.
5. Обнаружено, что при боковом обогреве шаровой полости независимо от взаимной ориентации горизонтального однородного магнитного поля и

приложенного градиента температур поток тепла становится меньше, чем без магнитного поля.

К недостаткам работы можно отнести:

1. Есть ряд замечаний по оформлению:
На стр. 52 речь идет о параметре A , который называется амплитудой конвективного течения, однако определения этого параметра до стр. 52 не дано.
Подписи к некоторым рисункам не содержат необходимой информации, например, в подписи к рис. 3.26 отсутствует информация о том, что описывают линии 1, 2, 3, 4. Конечно, эта информация есть в тексте, но для лучшего понимания хотелось бы видеть более полную информацию в подписях к рисункам.
2. Критический перепад температур, при котором возникает конвекция, зависит от величины магнитного поля, однако в диссертации, к сожалению, нет информации о зависимости критического перепада температур от величины магнитного поля.
3. В диссертации не обсуждаются физические причины прекращения автоколебаний конвективного течения в трансформаторном масле спустя несколько часов. Что происходит в трансформаторном масле в процессе конвекции и приводит к исчезновению автоколебаний конвективного течения? Ответ на этот вопрос хотелось бы увидеть в последующих работах автора.

Все отмеченные недостатки не меняют общей, безусловно, положительной оценки диссертации Краузиной М.Т. и носят рекомендательный характер для последующих исследований автора.

Заключение

Диссертация Краузиной М.Т. является законченной научно-квалификационной работой в области экспериментального исследования конвекции магнитных жидкостей, соответствующей специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. Работа написана понятным научным языком и качественно проиллюстрирована. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.


Диссертационная работа «Свободная конвекция магнитной жидкости в шаровой полости в гравитационном и магнитном полях» удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013,

предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Краузина Марина Тахировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании секции физико-химической газодинамики Ученого совета НИИ механики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» 16 января 2019 г. (протокол № 1).

Присутствовало на заседании 11 человек. В обсуждении приняли участие 5 человек. Результаты голосования: «за» – 11, «против» – 0, «воздержалось» – 0.

Профессор,
доктор физико-математических наук,
председатель секции Ученого совета,
заведующий лабораторией физико-химической гидродинамики
НИИ механики МГУ

 Полянский Виталий Александрович

Профессор,
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химической гидродинамики
НИИ механики МГУ

 Налетова Вера Арсеньевна

Подписи В.А. Полянского и В.А. Налетовой заверяю

Зам. директора НИИ механики МГУ,
доктор физико-математических наук



 Н.А. Остапенко

Сведения о ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

Тел.: (495) 939-10-00, E-mail: info@rector.msu.ru, Web-сайт: <http://www.msu.ru>