

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Диссертация Краузиной М. Т. посвящена экспериментальному изучению теплопереноса и режимов термогравитационной и термоконцентрационной конвекции магнитной жидкости в шаровой полости. В частности, рассмотрено влияние внешнего однородного магнитного поля на конвекцию при различных взаимных ориентациях приложенного градиента температуры и напряженности магнитного поля.

**Актуальность** анализа течений, обусловленных взаимодействием термогравитационного и термодиффузионного механизмов конвекции магнитных жидкостей, а также влияния гравитационной седиментации частиц и их агрегатов, определяется возможностью их практического использования в устройствах малых масштабов или в условиях микрогравитации. Изучение возможности управления интенсивностью тепло- и массопереноса в магнитных жидкостях с помощью магнитного поля является интересной и актуальной задачей.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, четырех глав, (включая обзор), заключения и списка литературы из 219 наименований. Общий объем диссертации 134 страницы, включая 58 рисунков и 3 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность исследуемой проблемы и определена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, описана научная новизна работы и перечислены полученные в диссертации новые результаты, отмечены выгоды использования для исследования шаровой полости, указана практическая и теоретическая ценность работы.

**В первой главе** приведен достаточно подробный обзор литературы по современному состоянию проблемы, посвященный свойствам и особенностям теплопереноса в наножидкостях, в частности магнитных жидкостях. Показано место диссертационного исследования среди работ других авторов.

**Во второй главе** приведено описание экспериментальной установки и методики проведения экспериментов по конвекции магнитной жидкости в шаровой полости в гравитационном и магнитном полях. В п. 2.1 детально описана экспериментальная установка, схемы различных измерений и используемые для экспериментов материалы. В п. 2.2 описаны способы измерения тепловых потоков, сопровождающиеся их теоретическим объяснением, в том числе даны оценки погрешностей измерений. В п. 2.3. указаны способы обработки температурных измерений – анализ дискретных временных рядов на основе дискретного преобразования Фурье и вейвлет анализа.

**Третья глава** посвящена исследованию устойчивости механического равновесия и режимов конвекции в подогреваемой снизу шаровой полости, заполненной магнитной жидкостью на основе трансформаторного масла, либо трансформаторным маслом. В п. 3.1. описаны эксперименты в магнитной жидкости на основе трансформаторного масла. Указаны типичные сценарии развития конвективной неустойчивости – мягкой и жесткой. Достаточно детально описаны результаты экспериментов и приведен их анализ. Например, на рис. 3.4, 3.5 описаны наблюдаемые перемежаемые режимы с регулярным чередованием колебательных движений и механического равновесия. Вблизи порога конвекции обнаружены колебательные режимы, возникающие вследствие поворота оси конвективного вала (рис. 3.6). Все приведенные результаты экспериментов сопровождаются подробным анализом, в частности на основе способов, указанных в п. 2.2 второй главы. Термограммы и фазовые портреты на рис. 3.7–3.15. позволяют получить полное представление о протекающих процессах. На рис. 3.16–3.20 демонстрируется переход к конечно-амплитудному течению, в частности, описывается спонтанное возникновение квазигармонических колебаний. Отмечено, что эксперименты с неперемешанной магнитной жидкостью усиливает устойчивость механического равновесия. В п. 3.2. описаны эксперименты непосредственно в жидкости-носителе – трансформаторном масле. Такие эксперименты проведены с целью выяснения природы автоколебаний, возникающих в магнитном коллоиде. Отмечено, что в жидкости-носителе наблюдались затухающие колебания, тогда как в магнитной жидкости автоколебания не прекращались в течение нескольких месяцев. Результаты экспериментов и их последующая обработка показаны, в частности на рис. 3.21–3.25. Сравнению поведения магнитной жидкости с поведением жидкости-носителя посвящен

п. 3.3. Рис. 3.26–3.28 и Таб. 3.1. иллюстрируют сходство и различия в тепловой конвекции для различных случаев и указывают на особенности поведения различных сред. В частности, делается заключение о том, что длительное сохранение автоколебаний в магнитной жидкости связано, скорее всего, с наличием твердой фазы.

**Четвертая глава** включает в себя результаты экспериментов по влиянию однородного магнитного поля на конвекцию магнитной жидкости в шаровой полости. Получено, что вертикальное магнитное поле может как увеличить теплоперенос, так и привести к его уменьшению, в зависимости от соотношения между магнитным и гравитационным числами Рэлея. Обнаружено, что горизонтальное магнитное поле оказывает ориентационное и стабилизирующее действие на одновихревое течение магнитной жидкости.

В п. 4.1. анализируется влияние вертикального магнитного поля как на механическое равновесие, так и на конвективные течения в шаровой полости, заполненной магнитной жидкостью. Указано, что для обеспечения значительного по величине магнитного числа Рэлея следует использовать магнитные жидкости с высоким пиромангнитным коэффициентом. Изменение параметра, характеризующего термомагнитный перенос, иллюстрирует рис. 4.1. В п. 4.1.1. анализируется стабилизация и ослабление течения в случае подогрева снизу (рис. 4.2), а в п. 4.1.2 – в случае при нагреве сверху (рис. 4.34.5). Указано, что дестабилизирующим фактором при нагреве сверху может являться магнитофорез. Влияние горизонтального магнитного поля исследовано в п. 4.2. В п. 4.2.1 описаны и изучены ориентирующий и стабилизирующий эффекты при подогреве снизу (рис. 4.9–4.11). В п. 4.2.2. изучено влияние на течение бокового обогрева шаровой полости. (рис. 4.16, 4.17.

В **заключении** перечислены основные результаты исследований, изложенных в диссертации.

**Достоверность результатов и высокая степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** диссертационной работы определяется тщательной проработкой методики измерений, подробным

анализом погрешностей, воспроизводимостью результатов, сопоставлением полученных данных с ранее опубликованными результатами других авторов.

В диссертации содержится целый ряд **новых результатов**, среди которых:

1. указано, что причиной жесткого возбуждения конвективного течения стратифицированной магнитной жидкости является не только седиментация частиц, но и стратификация жидкости-носителя — трансформаторного масла;
2. экспериментально обнаружены длительные нерегулярные колебательные режимы конвекции магнитной жидкости и колебания переходного характера в жидкости-носителе — трансформаторном масле, возникающие в шаровой полости вследствие поворота оси вала, вблизи порога механического равновесия;
3. указаны условия, при которых вертикальное однородное магнитное поле оказывает стабилизирующее или дестабилизирующее действие на неоднороднонагретую магнитную жидкость в шаровой полости;
4. экспериментально обнаружены ориентационный и стабилизирующий эффекты горизонтального однородного магнитного поля на одновихревое течение магнитной жидкости в шаровой полости.

Полученные результаты представляются достаточно **значимыми** не только в **научном**, но и в **практическом** отношении. Они могут быть использованы для построения более совершенных теоретических моделей теплопереноса в коллоидах, наножидкостях и магнитополяризующихся средах. Полное понимание взаимодействия между приложенным магнитным полем и результирующим переносом тепла является необходимым для создания и контроля устройств, использующих термомагнитный механизм конвекции.

**Диссертация прошла необходимую апробацию.** Результаты исследования были представлены на конференциях разного уровня, в том числе и международных. Всего сделано 25 публикаций, из которых 6 статей опубликовано в журналах из списка ВАК (входят в базу цитирований WoS). Автореферат диссертации полностью отображает результаты диссертации.

Текст диссертации позволяет получить полное представление о проделанной работе и важности полученных результатов. Никаких

существенных **замечаний** к работе не имеется. Возможны лишь некоторые стилистические опечатки. В частности, недоразумение с указанием числа глав (на стр. 10 указано, что главы три, тогда как имеется четыре главы – автор по неясной причине не включил первую главу с обзором в количество глав).


**Заключение.** Считаю, что диссертация Краузиной Марины Тахировны соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым кандидатским диссертациям, а ее автор Краузина Марина Тахировна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент Жуков Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики и математической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

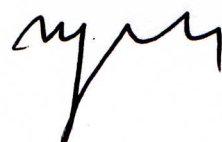
344006 г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42

Тел. + 7(863) 218-40-00 доб. 14016

e-mail: myuzhukov@gmail.com

 Жуков Михаил Юрьевич

«Я, Жуков М.Ю., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

 Жуков М.Ю.

«» \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Подпись Жукова М.Ю.*

*Зам. директора  
ИМФ РАН*



*А.А. Колесов*