

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук (ОИВТ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор, академик РАН

 О.Ф. Петров

«30» сентября 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ельтищева Владислава Андреевича
«Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в
цилиндрических объемах», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Ельтищева Владислава Андреевича посвящена экспериментальному изучению динамики поверхности и структуры течений жидкого металла, возникающих в цилиндрических объемах со свободной и твердой верхней границей для различных конфигураций токоподвода при наличии и в отсутствие внешнего магнитного поля.

Актуальность темы исследования. Научная актуальность темы исследования связана с задачами создания МГД-устройств, где протекающие в жидком металле электрические токи формируют вихревые течения и возбуждают поверхностные волны. Исследование несет фундаментальный интерес к МГД-процессам и практическую значимость для зеленой энергетики. Экспериментальные результаты ценны не только для проверки математических моделей, но и в повышении эффективности

жидкометаллических накопителей электроэнергии, что подтверждает несомненную актуальность темы диссертационной работы.

Структура и содержание диссертации. Работа выполнена в академическом стиле и содержит формулировку задачи, описание и аргументацию выбранных экспериментальных методов, а также полученные в ходе исследования основные выводы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, трех содержательных глав, заключения и библиографии. Общий объем работы составляет 148 страниц текста (в том числе 95 рисунков и 3 таблицы). Библиография содержит 158 источников.

Во **введении** представлена актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, продемонстрированы научная новизна и достоверность результатов, описана их практическая и теоретическая значимости и представлены выносимые на защиту положения.

В **обзоре литературы** проанализированы наиболее значимые научные труды, имеющих непосредственное отношение к теме диссертационного исследования. Основное внимание уделено МГД-течениям (в частности, электровихревым) жидких металлов внутри цилиндрических объемов, встречающимся в современных технологических устройствах МГД-неустойчивостям, а также возможностям экспериментальных методов, используемых для измерения скорости течений и определения уровня жидких металлов.

В **первой главе** приведено описание разработки и анализа индукционного датчика, предназначенного для бесконтактного измерения уровня свободной поверхности жидкого металла в условиях оптической непрозрачности стенок резервуара. Эффективность устройства подтверждена экспериментами как на стационарных, так и на нестационарных электропроводящих средах, включая задачу измерения положения фронта кристаллизации жидкометаллического расплава.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию электровихревых течений жидкого металла в цилиндрической ячейке в

отсутствие и под действием внешнего вертикального магнитного поля для случая свободной и твердой верхней границы при локализованном или коаксиальном токоподводе. Показано, что при воздействии внешнего вертикального магнитного поля, в зависимости от его величины возможно качественное и количественное изменение структуры течения.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования круговой поверхностной волны, возникающей в цилиндрической МГД-ячейке с центральным нижним и верхним кольцевым электродами в условиях вертикально приложенного постоянного магнитного поля. Проведены экспериментальные исследования формы свободной поверхности вращающейся жидкости после перехода круговой поверхностной волны в течение типа «воронка». Соискателем предложена упрощенная математическая модель, описывающая форму свободной поверхности жидкости при заданном силовом параметре.

В **заключении** сформулированы основные результаты выполненного исследования и определены перспективы дальнейшей разработки темы.

Научная новизна проведенного исследования состоит в следующем:

1. Разработан и применен бесконтактный индукционный датчик, позволяющий проводить измерения при высоких температурах через оптически непрозрачные электропроводящие стенки контейнеров для задач исследования колебаний границы жидкого металла, а также движения границы раздела твердой и жидкой фазы металла.

2. Экспериментально показано влияние внешнего вертикального магнитного поля на развитие электровихревого течения в цилиндрической ячейке с локализованной подачей электрического тока. Зафиксировано наличие переходного процесса, длительность которого находится в прямой зависимости от величины приложенного магнитного поля, а ключевой особенностью является значительное изменение интенсивности течения.

3. Получены эмпирические зависимости, связывающие число Рейнольдса с магнитной индукцией внешнего вертикального магнитного

поля. Эти зависимости количественно описывают подавление полоидального электровихревого течения жидкого металла в цилиндрической ячейке при локализованном и коаксиальном токоподводе.

4. Экспериментально реализована устойчивая круговая поверхностная волна в цилиндрической МГД-ячейке с центральным нижним и кольцевым верхним электродами в условиях аксиально приложенного постоянного магнитного поля. Получены эмпирические законы зависимости характерной частоты и амплитуды волны от силового параметра.

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в углублении знаний о механизмах генерации МГД-течений в жидких металлах, которые дают количественные данные для верификации численных моделей. Практическая значимость работы состоит в усовершенствовании индукционных методов в задачах бесконтактного измерения положения межфазной границы электропроводящих сред, обнаружении критических для работы жидкометаллических накопителей электроэнергии режимов течений и многостороннем изучении круговой поверхностной волны.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается проведением контрольных испытаний и подробной разработкой экспериментальных методик, использованием поверенного измерительного оборудования и калиброванных датчиков, а также верификацией полученных данных путем их сопоставления с теоретическими расчетами и результатами исследований других научных групп.

Основные результаты исследования опубликованы в девяти статьях входящих в перечень ВАК по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы» и индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus. Работа **апробирована** на многочисленных научных конференциях всероссийского и международного уровней.

Замечания по диссертационной работе:

1. Автором разработан и применен бесконтактный индукционный датчик уровня жидкого металла, при этом не приведена методика оценки погрешностей измерений этим методом.
2. В главе 2 говорится, что в отсутствие внешнего магнитного поля вертикальная компонента поля B_z равна 0.02 мТл, а радиальная B_r – 0.01 мТл. Действительно ли в системе имеется радиальное магнитное поле? По данным ИЗМИРАН, вертикальная компонента магнитного поля Земли в Перми составляет 0.053 мТл, а максимальная горизонтальная 0.017 мТл. Таким образом, непонятно происхождение магнитного поля указанной величины, так же не приведена погрешность прибора, которым измерялось поле.
3. В главе 2 получен интересный материал по профилям вертикальной скорости, при этом экспериментальные и расчетные результаты приведены на разных графиках, что затрудняет сравнение (рис. 2.5 и 2.7).
4. В главе 2 на рис. 2.9 приведены зависимости числа Рейнольдса от параметра электровихревого течения S (по сути скорости от тока), при этом наблюдается значительное отличие эксперимента и расчета в задаче с твердой поверхностью при больших S , и в задаче со свободной поверхностью при малых S . В чем причина такого отличия?
5. В главе 2 при моделировании автор полагал, что течение ламинарное, тогда как его соавторы по другим работам рассматривали турбулентное течение. С чем связан такой выбор?
6. В главе 3 получен очень интересный результат – карта режимов течения в системе с кольцевым электродом, представлены результаты в координатах $S - \delta/R$ (силовой параметр и относительная высота электрода) (рис. 3.18). При этом хорошо исследован диапазон малых параметров, а хотя бы качественные оценки, какого поведения волны можно ожидать при больших числах S и большом отношении δ/R не приведены.

Заключение по работе

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку работы. Диссертационная работа Ельтищева Владислава Андреевича «Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в цилиндрических объемах» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне и обладающей научной новизной и практической значимостью. Сформулированные в работе цели и задачи исследования достигнуты, а выносимые на защиту положения обоснованы. Тема научного исследования

является актуальной, перспективной и требует дальнейшего развития. Автореферат в достаточном объеме отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в цилиндрических объемах» соответствует требованиям пп. 9-4 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а её автор Ельтищев Владислав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен после доклада соискателя и обсуждения диссертационной работы и автореферата на семинаре ОИВТ РАН под руководством академика О.Ф. Петрова. На заседании присутствовало 43 чел. Результаты голосования: «за» - 43 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 15 от 3 сентября 2025 года.

Заместитель директора ОИВТ РАН по научной работе,

к.т.н.

Телефон: +7(495)4842592

E-mail: bia@ihed.ras.ru

 Беляев Иван Александрович

Заведующий лабораторией теплообмена

в энергетических установках (№ 10.2) ОИВТ РАН,

к.т.н., доцент

Телефон: +7(495)4850421

E-mail: nikvikvas@mail.ru



Васильев Николай Викторович

Подписи Беляева И.А. и Васильева Н.В. заверяю

Ученый секретарь ОИВТ РАН,

д.ф.-м.н.





Киверин Алексей Дмитриевич

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН). Адрес: РФ, 125412, Москва, улица Ижорская, д. 13, стр. 2. Телефон: +7(495)4842300, E-mail: ofpetrov@ihed.ras.ru. Сайт: <https://www.jiht.ru>