

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.10.2025 № 164

О присуждении Ельтищеву Владиславу Андреевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в цилиндрических объемах» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 03.07.2025, протокол № 157, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018.

Соискатель Ельтищев Владислав Андреевич 1993 г. рождения, в 2017 г. окончил магистратуру ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по направлению подготовки «Физика». В 2022 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в ФБГУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук" по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории технологической гидродинамики Института механики сплошных сред УрО РАН. Диссертация выполнена в ФБГУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук".

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор, заведующий отделом физической гидродинамики ИМСС УрО РАН Фрик Петр Готлобович.

Официальные оппоненты:

1. Сапожников Сергей Захарович, доктор технических наук (05.16.08, 05.16.01, 05.16.02), профессор, профессор Высшей школы атомной и тепловой энергетики Института энергетики ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", г. Санкт-Петербург;
 2. Соколов Дмитрий Дмитриевич, доктор физико-математических наук (01.04.02), профессор, профессор кафедры математики физического факультета ФГБОУ ВО "Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова", г. Москва;
- дали положительные отзывы на диссертацию

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Объединенный институт высоких температур Российской академии наук" (ОИВТ РАН), г. Москва, в своем положительном заключении, составленным заместителем директора по научной работе, к.т.н., Беляевым И.А.; заведующим лабораторией теплообмена в энергетических установках, к.т.н., доцентом Васильевым Н.В., и утвержденном директором ОИВТ РАН, д.ф.-м.н., профессором, академиком РАН

Петровым О.Ф., указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне в области экспериментального исследования электровихревых течений жидкого металла во внешнем вертикальном магнитном поле. Актуальность работы обусловлена задачами создания МГД-устройств, в которых 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, в частности, для повышения эффективности жидкометаллических батарей. Представленная диссертационная работа «Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в цилиндрических объемах» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ельтищев Владислав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискателем опубликовано 9 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Eltishchev V.**, Losev G., Frick P. Maintenance mechanism of a circular surface wave in a magnetohydrodynamic cell and limits of its existence // *Physical Review Fluids*. – 2024. – Vol. 9. – Art. id. № 083702. (WoS Q2, Scopus Q1)

Экспериментально исследована амплитудно-частотная характеристика круговой поверхностной волны, область её существования в плоскости параметров, представлен физический механизм поддержания устойчивой волны в цилиндрической ячейке.

2. Frick P., Mandrykin S., **Eltishchev V.**, Kolesnichenko I. Electro-vortex flows in a cylindrical cell under axial magnetic field // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2022. – Vol. 949. – Art. id. № A20. (WoS Q1, Scopus Q1)

В работе представлены результаты численного и экспериментального исследования электровихревых течений, возникающих в цилиндрической ячейке под действием внешнего магнитного поля, показаны стационарные режимы, проанализирована динамика переходных процессов, приводящих к перестройке течений.

3. **Eltishchev V.**, Losev G., Kolesnichenko I., Frick P. Circular surface wave in a cylindrical MHD cell // *Experiments in Fluids*. – 2022. – Vol. 63. – Art. id. № 127. (WoS Q2, Scopus Q1)

В работе описана экспериментальная реализация круговой поверхностной волны в цилиндрической МГД ячейке, представлены результаты измерений скорости течения и колебаний поверхности, показаны результаты расчета электромагнитной силы.

4. Kolesnichenko I., Frick P., **Eltishchev V.**, Mandrykin S., Stefani F. Evolution of a strong electrovortex flow in a cylindrical cell // *Physical Review Fluids*. – 2020. – Vol. 5. – Art. id. № 123703. (WoS Q2, Scopus Q1)

В работе представлены результаты экспериментального и численного изучения переходных режимов электровихревого течения в цилиндрической ячейке во внешнем магнитном поле.

5. **Eltishchev V.**, Mandrykin S., Kolesnichenko I. The influence of a cylindrical cathode on the electro-vortex flow of liquid metal: Numerical simulations and laboratory experiments // *Europhysics Letters*. – 2022. – Vol. 137. – Art. id. № 13001. (WoS Q2, Scopus Q2)

Численно и экспериментально исследовано электровихревое течение жидкого металла в цилиндрической ячейке, помещенной во внешнее вертикальное магнитное поле, при приложении аксиального электрического тока. Приведено сравнение результатов со случаем локализованной подачи тока. Показано, что подавление полоидального течения при коаксиальном токоподводе происходит при больших значениях магнитного поля, нежели в случае локализованного токоподвода.

6. **Eltishchev V.**, Losev G., Kolesnichenko I. Oscillations of free surface of rotating liquid metal in a cylindrical cell // Magnetohydrodynamics. – 2021. – Vol. 57, № 1. – P. 41-50. (WoS Q4, Scopus Q3)

Экспериментально исследуются колебания свободной поверхности жидкого металла в цилиндрической ячейке с помощью индукционного датчика уровня. Представлены измерения амплитуд и частот колебаний в зависимости от величины протекающего через ячейку тока и приложенного магнитного поля, выполнено сравнение с результатами измерений ультразвуковым доплеровским анемометром.

7. **Eltishchev V.**, Mandrykin S., Kolesnichenko I. Inductive level sensor: experiment and calculation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 950. – Art. id. № 012014. (Scopus)

Численно и экспериментально исследуется индукционный датчик уровня в модельной задаче определения частоты колебаний свободной поверхности жидкого металла. Представлен набор калибровочных кривых, определены параметры, увеличивающие чувствительность датчика.

8. Лосев Г., **Ельтищев В.** Индукционный метод локализации фронта кристаллизации // Вестник Пермского университета. Физика. – 2023. – № 1. – P. 57-61. (БАК)

Работа посвящена тестированию индукционного датчика для определения положения фронта кристаллизации электропроводящих расплавов. Проведено сравнение индукционного и ультразвукового методов локализации фронта кристаллизации галлиевого сплава.

9. **Eltishchev V.**, Dimov I., Pavlinov A., Khalilov R., Kolesnichenko I. Inductive methods of detection the boundary of electrically conductive media in experiment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 581. – Art. id. № 012004. (Scopus)

В работе рассматриваются индукционные методы в задаче определения уровня электропроводной среды. Представлены устройства для локального и интегрального определения положения верхней границы металла, получены калибровочные зависимости их выходных сигналов от уровня электропроводящей среды.

Публикации содержат в сумме 89 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Сапожникова С.З. В отзыве отмечено, что полученные в диссертационной работе результаты углубляют понимание о генерации течений в жидких металлах, возникающих под действием электромагнитных сил, и дают количественные данные для верификации численных моделей. Представлена оценка содержания работы, отмечена актуальность темы исследования, научная новизна,

теоретическая и практическая значимость и достоверность полученных результатов. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации:

- замечание об отсутствии обоснованности границ, в которых изменялись параметры электромагнитного поля, и привязки формы ячейки к геометрии существующих и перспективных промышленных установок;
- замечание относительно оценки точности измерений;
- замечание, касающееся изменения температуры и физических свойств сплава (главы 2 и 3);
- замечание относительно трудночитаемых подписей у некоторых рисунков и присутствия орфографических и синтаксических ошибок (рис. 1.15, 1.16, 2.14, 2.15, 3.27).

2. Положительный отзыв официального оппонента Соколова Д.Д. В отзыве отмечено, что результаты исследования убедительно вписываются в рамки технических вопросов, связанных с жидкометаллическими накопителями электроэнергии, при этом исследование фокусируется не на технических деталях, а на физике изучаемых процессов. Выделена актуальность работы, степень новизны, практическое значение результатов исследования и их достоверность. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание об обработке первичных экспериментальных данных;
- замечание о математической формулировке понятия свободной недеформируемой границы;
- замечание о наличии редакционных недостатков в тексте диссертации;
- замечание о списке опубликованных работ.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБУН ОИВТ РАН. В отзыве отмечается, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования электровихревых течений жидкого металла во внешнем вертикальном магнитном поле. Полученные результаты имеют фундаментальный интерес к МГД-процессам и существенную практическую значимость для технологий хранения энергии. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- замечание о методике оценки погрешности измерений бесконтактным индукционным датчиком;
- замечание, касающееся величины магнитного поля Земли и погрешности его измерения (глава 2);
- замечание о трудности сравнения экспериментальных и расчетных данных (глава 2, рис. 2.5 и 2.7)
- вопрос об отличии расчетных и экспериментальных данных при некоторых значениях параметра электровихревого течения (глава 2, рис. 2.9);
- вопрос о моделировании ламинарного течения (глава 2);
- замечание, касающееся оценки поведения волны при больших параметрах задачи на карте режимов течения (глава 3, рис. 3.18).

На автореферат поступило 8 отзывов:

1. Положительный отзыв от Бердникова В.С., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории интенсификации процессов теплообмена ФГБУН "Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН", г. Новосибирск (2 замечания);
2. Положительный отзыв от Вяткина А.А. к.ф.-м.н., декана физического факультета

- ФГБОУ ВО "Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет", г. Пермь (без замечаний);
3. Положительный отзыв от Груздь С.А., к.ф.-м.н., научного сотрудника лаборатории физики конденсированных сред ФГБОУ ВО "Удмуртский государственный университет", г. Уфа (1 замечание);
 4. Положительный отзыв от Копьева А.В., к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории проблем физики космоса ФГБН "Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН", г. Москва (без замечаний);
 5. Положительный отзыв от Листратова Я.И., к.т.н., доцента кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет «МЭИ»", г. Москва (4 замечания);
 6. Положительный отзыв от Макарова Д.В., к.ф.-м.н., начальника центра прикладной математики и физики Физико-математического института ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет", г. Пермь (без замечаний);
 7. Положительный отзыв от Перминова А.В., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой общей физики факультета прикладной математики и механики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь (1 замечание).
 8. Положительный отзыв от Разуванова Н.Г., д.т.н., ведущего научного сотрудника ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет «МЭИ»", г. Москва (2 замечания).

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- замечание, касающееся определения «локализованный токоподвод»;
- замечание о сложности восприятия результатов главы 2 из-за отсутствия схемы течения с указанием системы координат, векторов скорости и индукции магнитного поля;
- замечание об отсутствии данных измерений датчиком в зависимости от величины внешнего магнитного поля в главе 2;
- замечание, связанное с описанием численного моделирования в главах 2 и 3;
- замечание, касающееся разрешения и погрешности индукционного датчика;
- замечание, касающееся размера некоторых рисунков (рис. 3 (б) и 4 (в)), геометрических размеров канала, перепада температуры и форме фронта кристаллизации;
- замечание о контроле температуры в эксперименте и вкладе термогравитационной конвекции, термокапиллярного и электрокапиллярного эффектов (главы 2 и 3);
- замечание, связанное с сопоставлением экспериментальных и численных результатов в главе 2;
- замечание об интервалах погрешностей на рисунках 4 (в) и 5 (б).

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области физической и магнитной гидродинамики, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ФГБУН "Объединенный институт высоких температур Российской академии наук", г. Москва, является одним из ведущих научных центров в России в области современной энергетики и теплофизики. Основные направления фундаментальных исследований института: энергоресурсосбережение и комплексное использование природных топлив; тепломассообмен; фундаментальные проблемы современной электротехники, импульсной и возобновляемой энергетики; механика жидкости, газа и плазмы, неидеальных и многофазных сред; механика горения, детонации и взрыва; механика твердого тела, физика и механика деформирования и разрушения, механика композиционных и наноматериалов, трибологии. Институт выпускает журнал «Теплофизика высоких температур» (входит в перечень ВАК) и переводную версию «High Temperature» (включен в международные базы Web of Science и Scopus), научный журнал "Вестник Объединенного института высоких температур" и научно-популярный и общественно-политический журнал "Энергия: экономика, техника, экология". Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на научном семинаре ОИВТ РАН под руководством академика О.Ф.Петрова, протокол № 15 от 03.09.2025 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан бесконтактный индукционный датчик для измерения колебаний уровня электропроводящей среды и движения границы раздела твердой и жидкой фазы металла в процессе кристаллизации через оптически непрозрачные электропроводящие стенки контейнеров;

предложен механизм поддержания устойчивой круговой поверхностной волны в цилиндрической МГД-ячейке с центральным нижним и кольцевым верхним электродами в условиях аксиального постоянного магнитного поля;

доказано, что после включения сильных токов, протекающих через заполненную жидким металлом цилиндрическую ячейку во внешнем однородном вертикальном магнитном поле, возникает переходной процесс, при котором энергия полоидального течения во много раз превосходит энергию установившегося течения, причем длительность переходного процесса сильно зависит от величины поля;

введены управляющие параметры, в пространстве которых определены границы существования круговой поверхностной волны.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность ослабления полоидального электровихревого течения в заполненной жидким металлом цилиндрической ячейке с локализованным или

коаксиальным токоподводом слабым внешним аксиальным магнитным полем.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):

использованы современные экспериментальные методы для измерения скорости течений и определения уровня жидких металлов;

изложены результаты измерений скорости полоидального течения металла и выполненных на их основе оценок числа Рейнольдса, демонстрирующие зависимость интенсивности подавления электровихревого течения от величины внешнего магнитного поля;

раскрыты преимущества использования бесконтактной индукционной методики для исследования динамики свободной поверхности жидкого металла;

изучено влияние внешнего вертикального магнитного поля на структуру течения жидкого металла в цилиндрической ячейке при локальной и коаксиальной подаче электрического тока;

проведена модернизация экспериментальных установок для исследования направленной кристаллизации жидкого металла и круговой поверхностной волны.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена методика бесконтактного определения положения границы раздела электропроводящих сред, помещенных в оптически непрозрачный электропроводящий контейнер;

определены области значений управляющих параметров, обеспечивающие интенсивность и структуру течений, допускаемых при эксплуатации проектируемых жидкометаллических накопителей электроэнергии;

создана база экспериментальных данных для верификации теоретических и численных моделей;

представлены рекомендации по использованию результатов исследования для оперативного управления технологическими процессами и проектирования перспективных энергетических жидкометаллических устройств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ: исследования проведены с применением современного поверенного измерительного оборудования и калиброванных датчиков, что позволило обеспечить воспроизводимость и высокую точность полученных результатов;

теория построена на известных уравнениях гидродинамики и верифицирована на полученных в работе экспериментальных данных;

идея базируется на обобщении теоретических и экспериментальных исследований электровихревых течений жидких металлов;

использовано сравнение полученных результатов с известными теоретическими, численными и экспериментальными данными других авторов;

установлено качественное и количественное соответствие полученных данных с известными результатами теоретических и экспериментальных исследований в перекрывающихся областях параметров;

использованы апробированные экспериментальные методики измерения скорости течений жидкого металла, а также современные методы цифровой обработки и анализа

данных.

Личный вклад соискателя состоит в изготовлении, тестировании и калибровке индукционной измерительной системы, сборке лабораторных установок, составлении планов исследований, измерении скоростей течений жидкого металла с помощью ультразвукового доплеровского анемометра, написании программ по обработке экспериментальных данных. Постановка задач, обсуждение и анализ результатов исследований обсуждались с научным руководителем П.Г. Фриком и И.В. Колесниченко. Подготовка и написание текстов статей выполнены совместно с соавторами.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи об электровихревых течениях жидкого металла, возникающих в цилиндрической ячейке, в отсутствие и под действием внешнего вертикального магнитного поля при различных конфигурациях токоподвода. Результаты, описывающие переходные процессы и перестройку течения в зависимости от величины внешнего магнитного поля, а также возможность возникновения круговой поверхностной волны в цилиндрической ячейке, могут быть востребованы для проектирования и безопасной эксплуатации жидкометаллических накопителей электроэнергии.

На заседании 22 октября 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Ельтищеву В.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 004.036.01
д.ф.-м.н., профессор
Райхер Юрий Львович

 / Райхер Ю.Л.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 004.036.01
д.ф.-м.н., доцент
Зуев Андрей Леонидович

 / Зуев А.Л.

24 октября 2025 г.