

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук

Сапожникова Сергея Захаровича 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

**Актуальность темы исследования.** Течения жидких металлов, порождаемые интенсивными электромагнитными полями и большими токами, присутствуют в металлургии, в батареях и системах жидкометаллического охлаждения, в термоядерных реакторах и в других областях.

Соображения прочности, технологичности изготовления, эффективного перемешивания и теплообмена диктуют цилиндрическую форму большинства резервуаров для жидкометаллических теплоносителей. Исследование течений в таких объемах осложняет наличие свободных поверхностей. Примером служат алюминиевые электролизеры и жидкометаллические накопители энергии, в которых сильные токи генерируют опасные поверхностные волны.

Экспериментальное исследование течений в этих условиях, выявление связей между картинами течения и технологическими параметрами представляют несомненный научный и прикладной интерес и делают диссертацию В.А. Ельтищева безусловно **актуальной**.

**Анализ содержания диссертации.** В диссертации представлена постановка задачи, описаны и обоснованы методы экспериментального исследования, обобщены полученные результаты. Текст написан в научном стиле. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и библиографии общим объемом в 148 страниц машинописного текста (включая 95 рисунков и 3 таблицы). Список литературы содержит 158 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель исследования, его новизна, практическая значимость результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

**В обзоре** литературы автор анализирует наиболее значимые и актуальные работы, связанные с темой диссертации: о МГД-течениях жидких металлов в цилиндрических объемах; о МГД-неустойчивостях, встречающихся в современных технологических устройствах; об экспериментальных методах измерения скорости течения и определения уровня жидкого металла.

**В первой главе** представлены результаты разработки и исследования индукционного датчика уровня для бесконтактного измерения положения сво-

бодной поверхности жидкого металла, находящегося в оптически непрозрачной ячейке. Описаны конструкция, принцип действия датчика, состав и принцип работы экспериментального стенда и методика эксперимента.

**Во второй главе** экспериментально и численно исследованы электровихревые течения жидкого металла в цилиндрической ячейке в отсутствие и под действием внешнего вертикального магнитного поля для случаев свободной и твердой верхней границы потока.

**В третьей главе** экспериментально исследована круговая поверхностная волна в цилиндрической МГД-ячейке с центральным нижним и кольцевым верхним электродами в условиях аксиально приложенного постоянного магнитного поля.

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

**Научная новизна** работы В. А. Ельтищева состоит в том, что в ней впервые получены следующие интересные и важные результаты.

1. В исследовании колебаний границы жидкого металла и движения границы раздела твердой и жидкой фаз разработан и применен бесконтактный индукционный датчик, позволяющий высокотемпературные измерения через оптически непрозрачные электропроводящие стенки ячейки.

2. Экспериментально показано, что внешнее вертикальное магнитное поле влияет на развитие электровихревого течения. При локализованной подаче тока в цилиндрическую ячейку наблюдается переходный режим, продолжительность которого зависит от величины магнитного поля. Установлено, что в этом режиме интенсивность течения меняется экстремально, с кратным изменением уровня.

3. Получены эмпирические зависимости числа Рейнольдса от величины внешнего вертикального магнитного поля, описывающие подавление полой-дального электровихревого течения в цилиндрической ячейке при локализованном и коаксиальном токоподводе.

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

**Теоретическая и практическая значимость** диссертации определяются тем, что ее результаты углубляют понимание генерации течений в жидких металлах, возникающих под действием электромагнитных сил, и дают количественные данные для верификации численных моделей. В *первой главе* развиты индукционные методы бесконтактного исследования положения свободной поверхности и определения характеристик ее колебаний, а также по-

ложения границы раздела жидкой и твердой фаз при кристаллизации. Результаты *второй главы* полезны при разработке и использовании жидкометаллических накопителей электроэнергии, поскольку выявляют возможность существования опасных технологических режимов. Материалы *третьей главы* дают представление о круговой поверхностной волне, методах ее генерации, механизме поддержания, пределах существования, характеристиках возникающего течения и динамике свободной поверхности.

**Основные результаты** работы опубликованы в 9 статьях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в Web of Science, Scopus. Диссертация **апробирована** на многочисленных научных конференциях.

**Достоверность результатов** диссертационной работы обеспечивается тщательной разработкой экспериментальных методик, проведением тестовых опытов, использованием поверенного измерительного оборудования и градуированных датчиков, а также сравнением полученных результатов с данными теоретических, численных и экспериментальных исследований других авторов.

**Автореферат** в достаточной степени отражает содержание диссертации.

**К достоинствам диссертации**, помимо результатов, следует отнести:

- большой объем полученных экспериментальных данных для вихревых течений жидкого металла в цилиндрической ячейке с различными конфигурациями электродов, имеющий ценность как сам по себе, так и как массив для верификации численных моделей;
- экспериментальную реализацию устойчивой круговой поверхностной волны, определение её характеристик и области существования;
- предложенную в работе математическую модель формы свободной поверхности вращающейся жидкости после перехода круговой поверхностной волны в течение типа «воронка».

По содержанию и тексту диссертации имеются следующие **замечания**.

1. Не обоснованы границы, в которых изменялись параметры электромагнитного поля. Нет привязки формы ячейки к геометрии существующих и перспективных промышленных установок.
2. Работа, в основном, экспериментальная, но не во всех разделах дана оценка точности измерений. Автор не использует действующий в РФ ГОСТ 34100.2017, регламентирующий оценку неопределённостей, с какими определены величины.
3. Во второй и третьей главах рассмотрены течения галлиевого сплава при протекании токов до 1200 А, что приводит к джоуль-ленцеву нагреву. Однако не указано, как при этом менялись температура сплава и его физические свойства.

4. На рисунках 1.15, 1.16, 2.14, 2.15, 3.27 и некоторых других значения величин и подписи у осей трудно прочесть. В тексте присутствуют орфографические и синтаксические ошибки.

Сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты работы и не снижают в заметной мере её научной значимости.

**Заключение.** Диссертационная работа Ельтищева Владислава Андреевича на тему «Структура потоков и динамика поверхности при МГД течениях в цилиндрических объемах» является завершённой научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Ельтищев Владислав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

**Официальный оппонент**

профессор Высшей школы атомной и тепловой энергетики

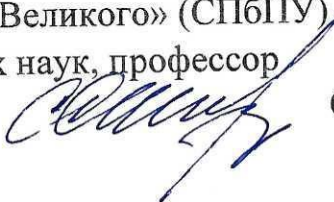
Института энергетики

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический

университет Петра Великого» (СПбПУ)

доктор технических наук, профессор

16 сентября 2025 г.



Сапожников Сергей Захарович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, литер Б.

тел.: +7 (812) 552-77-73

e-mail: [serg.sapozhnikov@mail.ru](mailto:serg.sapozhnikov@mail.ru)

Подпись Сапожникова С. З. заверяю.

Подпись *Сапожникова С. З.*  
УДОСТОВЕРЯЮ  
Ведущий специалист  
по кадрам  
« 20 » Г.

