

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Лосева Геннадия Леонидовича «Измерения характеристик и контроль МГД-процессов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация Лосева Геннадия Леонидовича посвящена отработке методов измерения и корректного электромагнитного воздействия в процессах перемешивания, очистки и кристаллизации жидких металлов. *Актуальность* исследования продиктована запросом металлургической отрасли промышленности на разработку эффективных инструментов управления фронтом кристаллизации и процессом сепарации примесей с целью получения металлических отливок заданного качества.

Методом исследования выступает физический эксперимент. Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, развивают экспериментальные методы исследования МГД-процессов и углубляют понимание механизмов возбуждения конвективных течений в жидких металлах. Рассмотренные диссертантом задачи представляют интерес как для фундаментальной, так и для прикладной магнитной гидродинамики. Вышесказанное определяет *теоретическую и практическую значимость исследования.*

Диссертация Лосева Геннадия Леонидовича представляет собой логически построенное исследование. Она состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации 143 страницы, включая 51 рисунок и список литературы из 163 наименований.

Во *введении* представлены актуальность, теоретическая и практическая значимость и степень разработанности темы исследования. Поставлены цели и задачи исследования. Перечислены положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации результатов и информация о структуре работы. Представлен *обзор литературы.*

В *первой главе* диссертации представлены результаты экспериментального исследования структуры и характеристик вихревых течений в плоском слое жидкого металла под действием пространственно локализованного переменного магнитного поля. Условия эксперимента соответствуют случаю малой толщины слоя относительно его планарных размеров. Экспериментальная установка включает в себя кювету из органического стекла, заполненную жидким галлиевым сплавом, С-образный

индуктор, сила тока в котором определяет интенсивность течений металла. Для исследования структуры вихревых течений жидкого металла используется ультразвуковой доплеровский анемометр (УДА). В рамках отладки методики экспериментального исследования проведены систематические тестовые испытания УДА с различными волноводами, установленными между датчиком и исследуемой средой. Изучено влияние материала волновода и его геометрических параметров на качество измерений. Показано, что локализованное в пространстве и переменное во времени магнитное поле генерирует в жидкой проводящей среде вихревые течения. Структура и характер течения зависит от локализации источника электромагнитных сил. Построена карта режимов, разграничивающая области четырёхвихревого, двухвихревого течений и течения смешанного типа на плоскости параметра силового воздействия и смещения области действия переменного магнитного поля от геометрического центра слоя жидкого металла. Определены характеристики энергии осреднённого и пульсационного течения, а также спектральные характеристики: характерные частоты пульсаций скорости и уровень заполнения спектра.

Во *второй главе* экспериментально исследуется структура течений, возникающих в вертикальном слое жидкого металла, и их влияние на процесс фазового перехода (а именно на скорость направленной кристаллизации металла и форму профиля твёрдой фазы). Течение создаётся бегущим магнитным полем (БМП), направленным вдоль слоя металла. Рассматриваются различные режимы модуляций БМП. Экспериментальная установка состоит из кюветы, заполненной жидким галлиевым сплавом. Кювета (прямоугольный плоский канал) устанавливается на линейной индукционной машине бегущего магнитного поля. Противоположные узкие стороны канала поддерживаются при различных температурах. Положение межфазной границы измеряется напрямую при помощи УДА без контакта со средой. Показано, что наложение внешнего БМП приводит к сглаживанию формы фронта кристаллизации. Модуляция БМП оказывает дополнительное влияние на сглаживание фронта кристаллизации благодаря изменению скорости и структуры течения в жидкой фазе. Периодическая подкачка нагретой жидкости оказывает положительное влияние на выравнивание границы раздела фаз. Определены зависимости эффективности уплощения фронта кристаллизации от способа энергопитания индуктора БМП, а также предложен физический механизм, объясняющий наблюдаемые изменения в поведении системы.

В *третьей главе* изучается эффективность процесса сепарации примеси в зависимости от величины приложенной электромагнитной силы,

скорости транзитного течения через сепарационный канал, положения задерживающих перегородок, типа верхней поверхности электролита в канале и угла наклона канала к направлению силы тяжести. Экспериментальная установка представляет собой сепарационный плексигласовый канал, помещенный между полюсами электромагнита. В качестве рабочей жидкости используется водный раствор калийной щелочи. Примесью служат карбоновые частицы размером от 10 до 300 мкм. Через жидкость пропускается электрический ток. Взаимодействие последнего с внешним магнитным полем приводит к квазиутяжелению раствора. При этом примесь всплывает и задерживается перегородками, установленными в центральной части кюветы. Концентрация примеси определяется методом фотосъёмки слоя жидкости с примесью. Разработан оптический метод определения концентрации примесей. Обнаружено, что эффективность разделения фаз повышается в следующих случаях: при понижении интенсивности силового воздействия, при понижении скорости транзитного течения через область силового воздействия, при наличии свободной верхней границы жидкости в области силового электромагнитного воздействия и при наклоне сепарационного канала на небольшой угол к направлению силы тяжести. Приведено физическое обоснование обнаруженных закономерностей.

В заключении работы приведены итоги выполненного исследования и рекомендации к дальнейшей разработке темы.

*Замечания по содержанию работы:*

1. Вводная часть работы содержит подробный обзор литературы, который слабо связан с основной частью диссертации. Например, на страницах 15-32 приведен широкий обзор методов измерения скорости в жидких металлах, а в работе используется только ультразвуковой доплеровский анемометр. Отсутствует сравнение результатов измерения, полученных с использованием различных экспериментальных методик.
2. Отсутствует сравнение результатов исследования, проведенных в рамках диссертационной работы, с результатами других авторов.
3. Выводы по главе 2 на странице 105 «Увеличение силы тока питающего индуктор бегущего магнитного поля (т.е. рост магнитного потока) до 5.0 А и выше обеспечивает максимальную среднюю скорость течения...» содержат размерные результаты. Очевидно, что при изменении масштаба задачи приведенные данные теряют смысл.

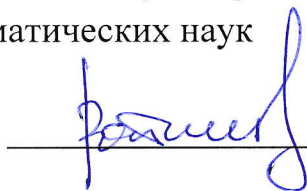
4. В начале параграфа 3.3 указано, что относительная концентрация частиц примеси определялась в экспериментах двумя методами, но на рисунке 3.4 представлены результаты, полученные тремя методами. Описание измерений концентрации примеси ультразвуковыми методами отсутствует.

Приведенные замечания не снижают ценности результатов научных исследований, представленных в диссертации. Работа написана хорошим научным языком и заслуживает высокой оценки в целом. Достоверность результатов и обоснованность положений не вызывает сомнений. Список публикаций состоит из 28 печатных работ, из них 6 публикации в журналах, являющихся рецензируемыми научными изданиями, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Представленная к защите диссертация Лосева Геннадия Леонидовича «Измерения характеристик и контроль МГД-процессов» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертационным работам, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Доцент кафедры физики и технологии  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Пермский государственный  
гуманитарно-педагогический университет»,  
кандидат физико-математических наук

25.10.2021



/ Вяткин Алексей Анатольевич

Адрес: 614990, г. Пермь, Сибирская, 24

ПГГПУ, <https://pspu.ru/>

Телефон: +7(342)215-19-47 (489)

E-mail: [vjatkin\\_aa@pspu.ru](mailto:vjatkin_aa@pspu.ru)

