



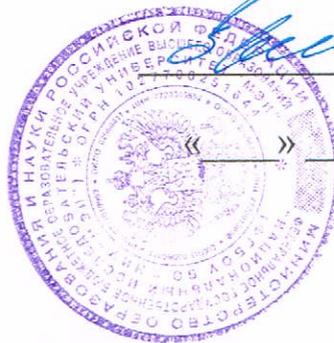
Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
111250, Россия, Москва,
Красноказарменная ул., 14,
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru
http://www.mpei.ru

УТВЕРЖДАЮ
проректор по научной работе

д.т.н, профессор


В.К. Драгунов

2016 г.



№ _____

« _____ » _____ 20__ г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ»

на диссертацию Павлинова Александра Михайловича «Экспериментальное
исследование турбулентных потоков жидких металлов», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы.

В настоящее время жидкие металлы рассматриваются в качестве перспективных теплоносителей при создании контуров охлаждения реакторов на быстрых нейтронах и термоядерных реакторов-токамаков, а также используются в многочисленных технических приложениях, в частности, в металлургии. Основной тенденцией развития экспериментальной магнитной гидродинамики становится переход к задачам с экстремальными значениями определяющих параметров (числа Рейнольдса, магнитного числа Рейнольдса, параметра МГД-взаимодействия), которые остаются за гранью возможностей современных компьютеров. Развитые турбулентные течения с большими числами Рейнольдса интересны как с точки зрения технических приложений, так и с точки зрения фундаментальных геофизических и астрофизических задач.

В современной металлургической промышленности для улучшения качества продукции необходима разработка конструкций различных установок, при этом

необходимы знания как о формируемом среднем течении выплавляемого металла, так и о свойствах возбуждаемых в потоке турбулентных пульсаций.

Интенсивные конвективные течения жидких металлов с малыми числами Прандтля возбуждаются при наличии мощных источников и стоков тепла. Такие условия возникают в контурах охлаждения ядерных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. При этом в жидком металле возникают значительные термотоки, препятствующие электромагнитным измерениям характеристик течения. Таким образом, диссертационная работа Павлинова А.М., посвященная созданию систем измерения температуры, скорости и магнитного поля в турбулентных потоках жидких металлов, генерируемых электромагнитным, механическим и конвективным способами, работающих в условиях высокой температуры, химической активности среды и высокого уровня электромагнитных помех, несомненно является весьма актуальной.

Структура, объем и основное содержание работы.

Диссертация объемом 113 страниц, включая 45 рисунков и 1 таблицу, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, который содержит 121 источник.

В первой главе проведен обзор литературы по теме диссертации в трех подразделах: турбулентные потоки жидких металлов, измерения скорости в жидких металлах и магнитное поле в турбулентной среде.

Вторая глава посвящена исследованию МГД-турбулентности, вызываемой бегущими и вращающимися магнитными полями. В разделе 2.1. приведено описание конструкции МГД-перемешивателя; в разделе 2.2 описана методика проведения эксперимента по изучению распределения создаваемого индуктором перемешивателя магнитного поля и результаты, позволившие настроить математическую модель индукторов. В разделе 2.3 приведены результаты измерения интегральной электромагнитной силы, генерируемой вращающимся и бегущим магнитными полями в проводящем твердом цилиндре, которые были использованы для верификации математической модели. В разделе 2.4 описана экспериментальная установка для измерения характеристик мелкомасштабной турбулентности, возбуждаемой МГД-перемешивателем в изотермическом объеме жидкого металла.

Третья глава посвящена исследованию возмущения аксиального магнитного поля тороидальным турбулентным течением жидкого натрия. Эффект переноса магнитного поля турбулентностью известен давно, но прямым методом экспериментально впервые изучен автором в этой работе.

Четвертая глава посвящена исследованию термогравитационной конвекции жидкого натрия в длинном цилиндре, расположенном под различными углами к вертикали. Экспериментальное исследование осложнено высокой химической активностью натрия и необходимостью поддержания температуры до 300°C.

В пятой главе обсуждаются вопросы измерения расхода жидкого металла в натриевом контуре ИМСС Уро РАН и применения метода лоренцевой расходомерии к высокоскоростным потокам проводящей среды. В разделе 5.1 дается описание комбинированной системы измерения расхода жидкого натрия, предложена схема тарировки и показаны ее результаты. В разделе 5.2 описано устройство датчиков для измерения силы Лоренца и индуцированных магнитных полей и показаны результаты применения датчиков на турбулентном тороидальном течении жидкого натрия.

Научная новизна.

Автором разработана методика измерений внутренних и интегральных характеристик в турбулентных потоках жидких металлов, с помощью которой получены новые результаты:

1. Экспериментально изучена структура турбулентных течений при наложении бегущих и вращающихся магнитных полей и их влияние на процесс кристаллизации жидкого металла.
2. Исследованы особенности турбулентных конвективных течений жидкого натрия в длинных цилиндрах с разной ориентацией по отношению к силе тяжести.
3. В экспериментах с потоком жидкого натрия в замкнутом тороидальном канале впервые зарегистрировано явление турбулентного диамагнетизма.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Создана методика измерения скорости и расхода жидкого металла, которая может найти широкое применение в системах измерений, применяемых в лабораториях и технологических устройствах. Предложена конструкция датчика скорости жидкого металла на основе измерения силы Лоренца, позволяющего работать при значениях магнитного числа Рейнольдса больше единицы.
2. Результаты исследований течений сплава в полости МГД-перемешивателя могут быть использованы при создании новых индукционных МГД устройств. Полученные результаты предполагается использовать в ИМСС Уро РАН при проектировании перемешивателей для жидких металлов.
3. Опытные данные, полученные при исследованиях конвективных течений жидкого натрия в длинных цилиндрах, были использованы для верификации кодов, применяемых для проектирования контуров охлаждения реакторов на быстрых нейтронах.
4. Результаты экспериментального исследования эффекта турбулентного диамагнетизма имеют значение при разработке теории динамо.

Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается тщательной разработкой методик проведения экспериментов, а также сравнением полученных результатов с данными известных экспериментальных и теоретических работ.

Личное участие соискателя.

Автор разработал, создал и настроил системы измерения скорости, температуры и магнитного поля. Принимал личное участие во всех экспериментах, в создании алгоритмов обработки и проведении обработки экспериментальных данных.

Результаты работы были представлены на 12 международных и российских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 49 работ, 8 из них в рекомендованных изданиях по перечню ВАК РФ.

Замечания по работе.

1. Во второй главе диссертации утверждается, что измерения положения фронта кристаллизации осуществлялись с помощью девяти ультразвуковых датчиков и упоминаются измерения формы границы. Непонятно, почему в описании результатов не приведены полученные эволюции формы фронта.
2. В главе, посвященной исследованию эффекта вытеснения магнитного поля турбулентным течением, показано направление (вдоль оси OZ), вдоль которого осуществлялось измерение индуцированного магнитного поля. Между тем, интерес представляет также распределение поля вдоль радиальной оси (OY). Сам автор работы замечает, что рост поля может наблюдаться именно в этом направлении, однако измерений проведено не было.

Сделанные замечания не влияют на общую оценку работы.

В целом работа является законченной, обладает научной новизной, несомненной теоретической и практической значимостью. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы, также как их достоверность и новизна. Работа завершена, ее основные результаты опубликованы в научных изданиях и представлялись на всероссийских и международных конференциях.

Содержание автореферата соответствует диссертации.

Диссертация Павлинова Александра Михайловича является завершенной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Материалы диссертационной работы соответствуют выбранной специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация «Экспериментальное исследование турбулентных потоков жидких металлов» Павлинова Александра Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», а ее автор Павлинов Александр Михайлович заслуживает искомой степени.

Заключение принято на научном семинаре кафедры Инженерной теплофизики (ИТФ) института тепловой и атомной энергетики НИУ «МЭИ». Присутствовало на заседании 26 членов профессорско-преподавательского и научного состава кафедры. Результаты голосования: «за» 26 чел., «против» 0 чел., «воздержалось» 0 чел., протокол № 4 /2016 от «9» ноября 2016 г.

Руководитель научного семинара кафедры Инженерной теплофизики

Профессор, д.т.н.



Ягов Виктор Владимирович

(e-mail: YagovVV@mpei.ru)

Профессор кафедры

Инженерной теплофизики, д.т.н.



Свиридов Валентин Георгиевич

(e-mail: SviridovVG@mpei.ru)

Старший научный сотрудник кафедры

Инженерной теплофизики, к.т.н.



Краснощекова Татьяна Евгеньевна

(e-mail: tkras@itf.mpei.ac.ru)

14.11.2016г.

Подписи сотрудников «НИУ «МЭИ»

Ягова В.В., Свиридова В.Г., Краснощековой Т.Е. удостоверяю

Зам. Начальника управления

по работе с персоналом



Баранова Елена Юрьевна

14.11.2016

Национальный исследовательский университет «МЭИ»,

Россия, 111250, Москва, Е-250, ул. Красноказарменная, д. 14,

т. (495) 362-7560, e-mail: universe@mpei.ac.ru