ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Виноградова Дмитрия Андреевича
«Электровихревое течение жидкого металла в полусферическом контейнере при воздействии внешнего магнитного поля» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация Д.А. Виноградова представляется мне интересной и **актуальной**, прежде всего, потому, что в ней, естественно, в контексте конкретной задачи, имеющей ясное практическое применение, поставлены проблемы, имеющие значение для гораздо более широкого круга важных вопросов, которые совершенно недостаточно изучены в современной магнитной гидродинамике. Это вопросы о том, как на практике отделить влияние внешнего магнитного поля от собственно индукционных эффектов. Говоря, скажем, о роли влияния магнитного поля Земли на конкретный магнитогидродинамический эффект, исследователь часто молчаливо предполагает, что это внешнее магнитное поле невелико и нет необходимости его тщательно устранять. Такой подход естественно возникает на ранних этапах развития науки, но рано или поздно подобная парадигма изживает себя и требует перехода к более совершенному описанию и пониманию явления. Этот переход важен и интересен не только для технических задач, с решением которых непосредственно связана рассматриваемая диссертация, но и для гораздо более широкого круга проблем. Для того, чтобы не быть голословным, отмечу, что при изучении магнитных полей в самых больших масштабах – масштабах галактик – возникают две существенно различные ситуации. При изучении магнитных полей самих галактик не видно какого-либо внешне источника магнитного поля. Напротив, в галактических струях такой источник очевиден (тело, из которого истекает струя) и его влияние нужно отделять от индукционных эффектов, возникающих в струе, однако вопрос о таком разделении практически не изучен. Многие страницы диссертации просто напрашиваются на то, чтобы их рассматривали как руководство для

подобной переработки. Как мне кажется, наличие подобного интеллектуального импульса свидетельствует о высоком научном уровне диссертации. Как известно, лучшие достижения каждой работы в определенном смысле являются одновременно и ее центральными недостатками. В данном случае мне кажется, что автор мог бы и уделить и большее внимание при написании текста диссертации этой новаторской стороне работы.

При решении сформулированных в диссертации задач автор использует как изощренные экспериментальные подходы, так и возможности численного моделирования, что свидетельствует о высоком профессиональном уровне работы. Если говорить о конкретных деталях работы, то мне особенно понравилась система подавления магнитного поля Земли. Дело в том, что подобную же проблему приходится решать в другой, на первый взгляд далекой области магнитных исследований – палеомагнитологии. Для меня было крайне интересно сравнить опыт решения задачи в обоих областях и констатировать, что диссертант очень квалифицированно справился с задачей. Эти и другие подобные штрихи убеждают в **обоснованности положений, выносимых на защиту и их достоверность**. Разумеется, это достигается и использованием таких традиционных приемов, как публикации в высокорейтинговых журналах, апробации результатов на различных научных мероприятиях и т.д. Результаты диссертации прекрасно опубликованы в авторитетных научных журналах.

Еще раз отмечу здесь, что автор мог бы включить в работу сравнение разработанной им схемы подавления магнитного поля Земли с опытом работы палеомагнитологов, однако кругозор каждого конкретного исследователя, естественно, ограничен и трудно ожидать, что в него должна с неизбежностью входить и эта ветвь науки.

Таким образом, вышеперечисленные аспекты определяют **теоретическую и практическую значимость работы**, а результаты диссертации могут представлять интерес для следующих организаций – ИЗМИРАН, **И**нститут астрономии РАН, Институт космических

исследований РАН, физический факультет МГУ, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга.

Новизна выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, хорошо обоснована сравнением с имеющейся научной литературой и опытом докладов на международных конференциях. Отмечу, что научная ситуация в данной отрасли знания сложилась так, что ведущий научный журнал в этой области издается в Латвии. Понятно, что у отечественных авторов возникают определенные сложности при публикации в этом журнале, хотя она и крайне желательна для того, чтобы работа завоевала достойное место в науке. Автор дважды преодолел этот барьер, что само по себе свидетельствует о качестве его работы. Также отмечу, что по теме диссертации автор имеет 13 публикаций, 11 из которых опубликовано в научных журналах, входящих в перечень ВАК или индексируемых в международных базах данных WOS/Scopus.

Личный вклад описан автором в тексте диссертации. Такой объем самостоятельной научной работы является более чем достаточным для кандидатской диссертации и не оставляет сомнений в определяющем личном вкладе соискателя в представленные результаты.

Структура работы. Диссертационная работа изложена на 129 страницах печатного текста и содержит 73 рисунка и 5 таблиц. Список использованной литературы насчитывает 102 источника. Сама работа построена вполне традиционно и включает введение, четыре главы и заключение.

Во введении автор прежде всего дает общее представление об электровихревых течениях, механизме их возникновения и роли в различных электротехнологических процессах. Здесь же рассматриваются основные методы измерения скорости жидких металлов, и объясняется выбор экспериментальных средств, использованных в работе. Далее автор обосновывает актуальность исследования влияния внешнего магнитного поля на структуру и интенсивность электровихревого течения, формулирует цель и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту. Во введении представлены научная новизна, теоретическая и практическая

значимость полученных результатов, сведения об их достоверности и апробации, публикациях и личном вкладе автора.

Первая глава посвящена достаточно подробному обзору теоретических, численных и экспериментальных исследований электровихревых течений. Автор рассматривает закономерности формирования электровихревого течения при отсутствии внешнего магнитного поля. Особое внимание, естественно, уделено работам, в которых изучалось воздействие внешнего осевого магнитного поля, приводящее к азимутальной закрутке расплава, образованию вторичных вихрей и ослаблению основного течения. Выполненный обзор позволил автору выделить вопросы, которые к моменту начала исследований оставались недостаточно изученными, и на этой основе конкретизировать задачи диссертационной работы.

Во второй главе описана экспериментальная установка с полусферическим медным контейнером, заполненным эвтектическим сплавом In–Ga–Sn. Представлены системы электропитания и охлаждения, соленоид для создания внешнего осевого магнитного поля и катушка Максвелла, предназначенная для подавления магнитного поля Земли. Значительная часть главы посвящена методикам измерения температуры и скорости жидкого металла с использованием корреляционного зонда и волоконно-оптического преобразователя. Рассмотрен также метод определения азимутальной скорости на поверхности расплава по движению водородных меток. Следует отметить, что автор не ограничивается описанием экспериментальной техники, но приводит сведения о ее калибровке и оценивает погрешности проведенных измерений.

Третья глава посвящена математическому описанию исследуемого процесса и применяемой численной методике. Автор приводит основные уравнения магнитной гидродинамики и критерии подобия, описывает способы расчета плотности электрического тока, магнитного поля и электромагнитной силы. Отдельный интерес представляет реализация расчета магнитного поля по закону Био–Савара–Лапласа на графических процессорах с использованием технологии NVIDIA CUDA. Далее

рассматриваются электродинамическое и безындукционное приближения, а также полная МГД задача. Правомерность принятых упрощений обосновывается сопоставлением различных расчетных постановок между собой, с результатами, полученными в COMSOL, и с имеющимися экспериментальными данными.

Основные результаты диссертационной работы, разумеется, сосредоточены **в четвертой главе**. Вначале автор показывает, что даже магнитное поле Земли заметно снижает осевую скорость электровихревого течения в области струи. Далее исследуются образование вторичного тороидального вихря и автоколебания, возникающие при его взаимодействии с основным вихрем. Получена граница раздела одновихревых и двувихревых режимов, а также определены пределы применимости различных МГД-приближений. Затем автор рассматривает структуру электровихревого течения в диапазоне внешних магнитных полей – от поля Земли до 1 Тл. Показано, что с увеличением магнитного поля течение проходит через несколько характерных состояний, а при достаточно сильном поле возникает электромагнитное торможение и движение жидкого металла локализуется в области малого электрода. Полученные результаты сопоставляются с известными данными других исследователей.

В заключении автор обобщает основные результаты диссертационной работы и формулирует выводы, соответствующие положениям, выносимым на защиту.

Замечания. Разумеется, как и каждая работа, диссертация не свободна от некоторых недостатков. Как всегда, они включают несколько типов недостатков – неполное развитие научного потенциала диссертации, различные огрехи и некоторые научные неточности:

1. Я описал два потенциально выигрышных направления, в которых можно было бы развить работу (галактические струи и палеомагнитология). Наверное, можно найти и другие пути внедрения работы, однако сама возможность обсуждения этих расширений темы свидетельствует о высоком уровне работы.

2. Форма представления публикаций автора в принципе удачна, но оставляет недостаточно проясненными некоторые вопросы. Главные статьи автора, естественно, перечислены в автореферате. Они хороши, не вызывают возражений. Однако несомненно, что автор в своей научной жизни выступал на различных конференциях, публиковал там тезисы и т.п. В этом убеждает солидный список про апробацию работы. Наверное, ссылки на эти тезисы можно вычленить из текста, но это очень непростая работа. Что мешало включить в диссертацию и автореферат полный список работ, подразделенный на основные и вспомогательные работы?

3. На рисунках 4.12, 4.14, 4.15, 4.18 и 4.19 представлены зависимости осевой и азимутальной компонент скорости, однако в самой работе не уточняется, что приводятся их модули (в отличие от автореферата, где оси соответствующих графиков корректно обозначены знаком модуля). Хотя данное упущение не влияет на интерпретацию результатов, в подписях к рисункам или на осях координат следовало явно указать, что представлены абсолютные значения скорости.

4. В описании экспериментальной установки заявлен диапазон радиусов малых электродов от 1 до 10 мм, однако при изложении ряда ключевых результатов точные значения параметров используемых электродов не приводятся.

5. Режим, соответствующий индукции внешнего магнитного поля 1 Тл, находится на границе исследованного диапазона. В связи с этим, опираясь исключительно на представленные данные, классифицировать его как второй локальный минимум некорректно.

6. Все расчеты проведены в предположении осесимметричности течения, ничего не говорится возможных трехмерных эффектах.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Хочется также отметить, что диссертация достойно продолжает богатую традицию отечественной науки в области магнитной гидродинамики, как в прикладном, так и в теоретическом плане.

Диссертация отвечает требованиям ВАК к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям ВАК.

Таким образом, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Виноградов Дмитрий Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент, профессор кафедры математики физического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, +7 (915) 137-86-65, https://msu.ru/, sokoloff.dd@gmail.com

д.ф.-м.н., профессор Соколов Д.Д.

14.09.2026

И.О. декана физического факультета, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, +7 (495) 939-31-60, https://msu.ru/, info.ff@org.msu.ru

д.ф.-м.н., профессор Белокуров

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

диссертационной работы Виноградова Дмитрия Андреевича «Электровихревое течение жидкого металла в полусферическом контейнере при воздействии внешнего магнитного поля», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Фамилия, имя, отчество	Соколов Дмитрий Дмитриевич
Гражданство	РФ
Ученая степень	Доктор наук
Отрасль науки	Физико-математические науки
Специальность	01.04.02 – теоретическая и математическая физика
Ученое звание	Профессор
Должность	Профессор
Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Организационно-правовая форма	ФГБОУ ВО
Ведомственная принадлежность	Правительство Российской Федерации
Структурное подразделение	кафедра математики
Адрес электронной почты	sokoloff.dd@gmail.com
Телефон	+7-915-137-86-65

СПИСОК

опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях
официального оппонента по защите диссертации Виноградова Дмитрия Андреевича
на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему:
«Электровихревое течение жидкого металла в полусферическом контейнере при воздействии внешнего магнитного поля»,
по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

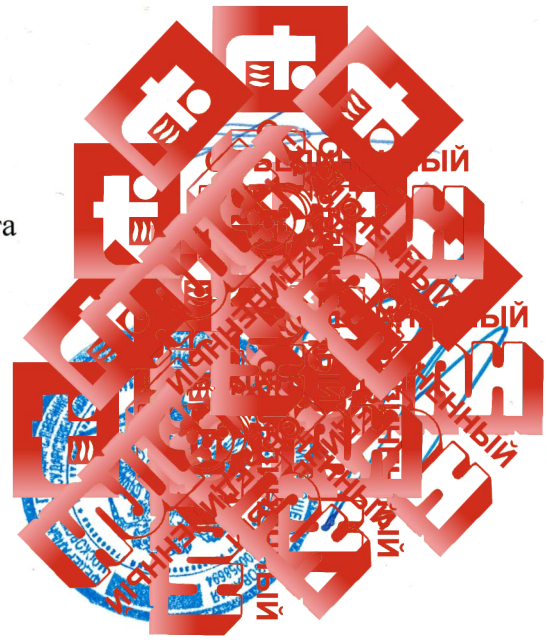
№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
1	Transformation of Solar Wind Energy and Helicity Spectra in the Frame of Magnetohydrodynamics Shell Modeling	Научная статья	Dukanov I., Yushkov E., Frick P.	Physical Review E. Vol. 113. No. 5. P. 055208 (2026).	Да
2	Turbulent Dynamo in the Shell Model and the Kazantsev-Kraichnan Approach	Научная статья	Abushzada I., Yushkov E., Frick P.	Physical Review E. Vol. 112. No. 1. P. 015104 (2025).	Да
3	Cyclic Variations of the Structure and Energetics of Solar Magnetic Fields	Научная статья	Obridko V.N., Shibalova A.S.	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 529. No. 3. P. 2846–2853 (2024).	Да
4	Small-Scale Kazantsev-Kraichnan Dynamo in a MHD Shell Approach	Научная статья	Abushzada I., Yushkov E., Frick P.	Physica Scripta. Vol. 98. No. 11. P. 115966 (2023).	Да
5	Growth Rate of the Initial Magnetic Energy in Isotropic Velocity Field with Non-Gaussian Distribution	Научная статья	Illarionov E.A.	Magnetohydrodynamics. Vol. 59. No. 1. P. 23–28. (2023)	Да

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
6	Nonlinear Parametric Resonance in the Simplest Model of a Solar Dynamo	Научная статья	Serenkova A.Yu., Yushkov E.V.	Journal of Experimental and Theoretical Physics. Vol. 136. No. 4. P. 456–464. (2023)	Да
7	The Extended Solar Cycle and Asymmetry of the Large-Scale Magnetic Field	Научная статья	Obridko V.N., Shibalova A.S.	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 523. No. 1. P. 982–990. (2023)	Да
8	Solar Large-Scale Magnetic Field and Cycle Patterns in Solar Dynamo	Научная статья	Obridko V.N., Pipin V.V., Shibalova A.S.	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 504. No. 4. P. 4990–5000. (2021)	Да

Официальный оппонент
д.ф.-м.н., профессор кафедры
математики
ФГБОУ ВО МГУ
имени М.В. Ломоносова

Д.Д. Соколов

И.О. декана физического факультета
ФГБОУ ВО МГУ имени
М.В.Ломоносова
профессор



В.В. Белокуров