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 11.11.2026 № 187

О присуждении Окатьеву Роману Сергеевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация "Генерация, перенос и диффузия неоднородностей в магнитогидродинамических течениях" принята к защите 02.09.2026, протокол № 181, 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 Окатьев Роман Сергеевич 1997 г. рождения, в 2021 г. с отличием окончил магистратуру ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика». В 2026 г. окончил аспирантуру очной формы обучения ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" (ПГНИУ) по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником лаборатории технологической. гидродинамики Института механики сплошных сред ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук". Диссертация выполнена в Физико-математическом институте ПГНИУ.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор, профессор Физико-математического института ПГНИУ Фрик П.Г.

Официальные оппоненты:

1. Исаев Сергей Александрович, доктор физико-математических наук (01.02.05), профессор, заведующий лабораторией фундаментальных исследований ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. главного маршала авиации А.А.Новикова", г. Санкт-Петербург;
2. Юшков Егор Владиславович, кандидат физико-математических наук (01.02.05), доцент 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 "Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН" (ФИАН), г. Москва, в своем положительном заключении, составленным руководителем Отделения теоретической физики им. И.Е.Тамма, академиком РАН, д.ф.-м.н. К.П. Зыбиным; старшим научным

сотрудником лаборатории проблем физики космоса Отделения теоретической физики им. И.Е.Тамма, д.ф.-м.н. А.С. Ильиным и утвержденном и.о. директора ФИАН, академиком РАН, д.ф.-м.н. Н.Н. Колачевским, указала, что диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу в области магнитной гидродинамики, посвященную исследованию влияния пространственных и временных (например, стохастической модуляции) неоднородностей проводящей среды на динамику МГД-течений. Актуальность работы обусловлена тем, что подавляющее большинство реальных сред в природных и технологических системах являются неоднородными, однако классические модели МГД, как правило, рассматривают однородные среды в силу математической простоты их описания. Однако, неоднородность свойств среды может приводить к качественным изменениям в поведении течений, включая снижение порогов устойчивости, возникновение новых типов неустойчивостей, появлению сложной спектральной динамики. Выполненные в диссертационной работе исследования закладывают основу для понимания ламинарно-турбулентных переходов в МГД-системах с температурными или концентрационными градиентами, имеют прямое значение для разработки расходомеров и методик измерения скорости в жидких металлах и вносят вклад в понимание механизмов, формирующих звездные и галактические магнитные поля. Представленная диссертационная работа "Генерация, перенос и диффузия неоднородностей в магнитогидродинамических течениях" удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Окатьев Роман Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – "Механика жидкости, газа и плазмы".

Соискателем опубликовано 6 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. Frick P., **Okatev R.,** Sokoloff D. Spectral properties of low-order dynamo systems // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. — 2022. — Vol. 18, № 2. — P. 289-296. (Scopus Q3)

В работе исследованы хаотические колебания маломодовой модели солнечного динамо Паркера, построены спектры колебаний при различных значениях управляющих параметров. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 35%.

2. **Okatev R.,** Frick P., Sokoloff D. Can the observable solar activity spectrum be reproduced by a simple dynamo model? // Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics. — 2023. — Vol. 117, № 6. — P. 437-454. (WoS Q3, Scopus Q3)

В работе исследована возможность воспроизведения наблюдаемого спектра солнечной активности с использованием трех модификаций модели солнечного динамо Паркера. Определены диапазоны значений динамо-числа, в которых модели могут качественно воспроизводить наблюдаемый спектр. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 50%.

3. **Окатьев Р.**, Фрик П., Колесниченко И. Течение Гартмана в слое жидкости с пространственно неоднородными свойствами // Вестник Южноуральского университета. Серия "Математика. Механика. Физика". — 2023. — Т. 15, № 3. — С. 34-42. (ВАК)

В работе выведено уравнение для определения стационарного профиля течения Гартмана

жидкости с неоднородным пространственным распределением вязкости и электропроводности. Показано, что при умеренных значениях числа Гартмана полученные профили скорости характеризуются наличием точек перегиба. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 60%.

4. **Окатьев Р.**, Фрик П., Колесниченко И., Гольбрайх Е. О влиянии диффузии на точность измерения расхода жидкости методом лагранжевых меток // Вестник Пермского университета. Физика. — 2023. — № 4. — С. 28-34. (ВАК)

В работе на примере одномерной задачи переноса продемонстрировано появление систематической погрешности при оценке скорости методом лагранжевых меток. Определены значения числа Пекле, начиная с которого систематическая погрешность становится незначительной. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 60%.

5. **Окатьев Р.**, Фрик П. Статистика времен возвращения при анализе хаоса в динамических системах // Вестник Пермского университета. Физика. — 2024. — № 3. — С. 19-27. (ВАК)

В работе предложена мера хаотичности колебаний динамической системы, основанная на статистике времен возвращения. На примере системы Лоренца продемонстрировано применение этой меры для разделения периодических и хаотических режимов. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 60%.

6. **Okatev R.**, Zikanov O., Krasnov D., Frick P. Inflection point instability in Hartmann channel flow with variable electric conductivity // Physics of Fluids. — 2026. — Vol. 38, № 4. (WoS Q1, Scopus Q1)

В работе исследована линейная устойчивость течения Гартмана при линейном поперек слоя распределении электропроводности. Показано возникновение неустойчивости, связанной с наличием точек перегиба в профиле скорости. Результаты линейного анализа подтверждены прямым численным моделированием. Авторский вклад Окатьева Р.С. в публикацию составляет 45%.

Публикации содержат в сумме 64 страницы 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 Исаева С.А. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов. Оппонент сделал следующие замечания по диссертации и автореферату:

- замечание по поводу отсутствия упоминания работ группы Г.Г. Янькова в обзоре литературы по методам математического моделирования МГД-систем;
- вопрос о возможности экспериментальной проверки искажения профиля скорости за счет неоднородности свойств жидкости;
- вопрос о погрешности результатов прямого численного моделирования в главе 2 диссертации;
- замечание об отсутствии МГД-течений в главе 3 диссертации;

- замечание о необходимости пояснения термина «нетривиальная динамика» в главе 4 диссертации.

2. Положительный отзыв официального оппонента Юшкова Е.В. В отзыве отмечено, что полученные в диссертационной работе результаты позволяют по-новому взглянуть на роль пространственных и временных неоднородностей, оказывающих в различных приложениях как полезное, так и вредное влияние. Результаты работы могут найти свое применение при проектировании энергетических установок с рабочей проводящей жидкостью и при разработке расходомеров, а развиваемые в главе 4 методы анализа динамического хаоса могут пригодиться в различных прикладных задачах с подобной динамикой. Оппонент сделал следующие замечания:

- замечание о нехватке перекрестного анализа результатов диссертационной работы и результатов более ранних исследований других авторов;
- замечание о недостатке сравнения с экспериментальными данными и результатами наблюдений;
- замечание о недостаточном анализе влияния предположений, применяемых при выводе маломодовой системы Паркера, на результаты моделирования;
- замечание о связи воздействий, определяемых рассмотренными автором пространственными и временными неоднородностей.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБУН ФИАН. В отзыве отмечается, что диссертация является целостным, оригинальным и качественным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, которое содержит совокупность новых теоретических и численных результатов, имеющих фундаментальное и прикладное значение для механики жидкости, газа и плазмы, а также для астрофизики. Ведущая организация сделала следующие замечания:

- вопрос об оценке времени диффузии и ее сравнении с временем роста возмущений в главе 2 диссертации;
- вопрос об адекватности одномерной модели, рассмотренной в главе 3 диссертации, для реальных конфигураций течения;
- вопрос о влиянии выбора другого распределения времени релаксации или корреляционных свойств шума на результаты исследования модели РА в главе 4 диссертации;
- замечание о наличии опечаток и стилистических погрешностей в тексте диссертации.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1. Положительный отзыв от Брацуна Д.А., д.ф.-м.н., доцента, главного научного сотрудника ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь (без замечаний);
2. Положительный отзыв от Илларионова Е.А., к.ф.-м.н., доцента кафедры теории вероятностей механико-математического факультета ФГБОУ ВО "Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова", г. Москва (без замечаний);
3. Положительный отзыв от Листратова Я.И., к.т.н., доцента кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет «МЭИ»", г. Москва (3 замечания);
4. Положительный отзыв от Смольянова И.А., к.т.н., доцента кафедры электротехники

ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет им Б.Н.Ельцина", г. Екатеринбург (4 замечания);

5. Положительный отзыв от Терехова В.И., д.т.н., профессора, главного научного сотрудника лаборатории термогазодинамики; Скибиной Н.П., к.ф.-м.н., научного сотрудника лаборатории термогазодинамики ФГБУН "Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН", г. Новосибирск (3 замечания).

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- вопрос о чувствительности результатов к различному выбору характерной электропроводности для оценки числа Гартмана;
- вопрос об оценке влияния значения градиента электропроводности на толщину гартмановского пограничного слоя;
- вопрос об универсальности зависимости критических параметров неустойчивости, связанной с точкой перегиба, для различных значений числа Гартмана;
- вопрос о возможности одновременного развития неустойчивости гартмановского пограничного слоя и неустойчивости, связанной с наличием точки перегиба;
- вопрос о выборе метода проведения прямого численного моделирования;
- вопрос о выборе численного метода исследования маломодовой модели;
- замечание о чувствительности корреляционного метода оценки скорости течения к форме тестового сигнале;
- замечание об оценке характерного времени установления стационарного профиля скорости и его сопоставлении с характерным временем изменения распределения примесей.

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 ведущими специалистами в области физической гидродинамики, имеют большое число публикаций с результатами теоретических работ по астрофизическим МГД-течениям (Е.В. Юшков) и численного моделирования турбулентных гидродинамических течений самой разной природы (С.А. Исаев); обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ФГБУН ФИАН является одним из ведущих научных центров в области исследований физической гидродинамики, турбулентности, магнитной гидродинамики и астрофизики. В ФИАН проводятся теоретические и экспериментальные исследования, связанные со стохастическим переносом неоднородных структур в турбулентных течениях, механизмами формирования пространственно-временных структур в нелинейных диссипативных динамических системах, устойчивостью и динамикой волновых процессов в различных средах. Работы сотрудников поддерживаются грантами ведущих научных фондов. ФИАН выпускает журнал «Успехи физических наук» (входит в перечень ВАК) и его переводной версии «Physics-Uspekhi

(Advances in Physical Sciences)» (включен в международные базы Web of Science и Scopus). В институте действуют регулярные семинары по астрофизике, нелинейной динамике, физике плазмы, математическому моделированию сложных систем. 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 заседании Ученого совета Отделения теоретической физики им. И.Е.Тамма ФИАН 20.10.2026 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель течения вязкой электропроводящей жидкости в магнитном поле с учетом пространственной неоднородности электропроводности среды, на основе которой поставлена спектрально-амплитудная задача для исследования линейной устойчивости таких течений;

предложен подход для выделения областей динамического хаоса в маломодовых системах, основанный на анализе гистограмм времен возвращения, верифицированный на известных динамических системах и примененный для исследования четырехмодовой модели Паркера.

доказано, что наличие точек перегиба в профиле скорости модифицированного течения Гартмана жидкости с неоднородно распределенной электропроводностью приводит к развитию неустойчивости; а в рамках моделей солнечного динамо паркеровского типа доказана возможность качественно воспроизводить наблюдаемый спектр солнечной активности.

введена количественная характеристика для оценки степени хаотичности колебательных режимов динамических систем на основе степени заполнения гистограммы времен возвращения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказано, что в модифицированном течении Гартмана при линейном по высоте канала распределении электропроводности в дополнение к неустойчивости пограничного слоя при больших градиентах электропроводности возникает длинноволновая неустойчивость, связанная с появлением в профиле скорости точек перегиба, причем критическое число Рейнольдса для найденной неустойчивости значительно ниже, чем для неустойчивости погранслоя; а для метода лагранжевых меток оценки скорости течения доказано появление систематической погрешности, связанной с диффузионным размытием метки.

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

использован комплекс численных и полуаналитических методов решений задач гидродинамики, а также анализа временных рядов и их спектральных свойств;

изложены результаты решения задачи линейной устойчивости и прямого численного моделирования модифицированного течения Гартмана с линейным по высоте канала распределением электропроводности;

раскрыты особенности динамических режимов трех модификаций модели солнечного

динамо Паркера в широком диапазоне значений управляющего параметра и определены значения параметра, при которых модели качественно воспроизводят наблюдаемый спектр солнечной активности;
изучено влияние неоднородности свойств жидкости на профиль скорости;
проведена модернизация математических моделей магнитной гидродинамики и их численной реализации на случай учета пространственной неоднородности электропроводности среды, а также методик оценки режимов колебаний маломодовых динамических систем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:
разработана и внедрена в Отделе физической гидродинамики ИМСС УрО РАН оценка степени хаотичности колебаний динамической системы на основе коэффициента заполнения гистограммы времен возвращения;
определены значения критических параметров течения Гартмана с неоднородными свойствами жидкости для неустойчивости, связанной с появлением в профиле скорости точек перегиба; при оценке скорости методом лагранжевых меток определены границы возникновения систематической погрешности, связанной с диффузионным эффектом.
создана программа для оценки степени хаотичности временного ряда на основе анализа статистики времен возвращения;
представлены рекомендации для использования метода лагранжевых меток и оценены границы возникновения систематической погрешности, связанной с диффузионным эффектом;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:
теория построена на известных уравнениях магнитной гидродинамики и моделях солнечного динамо;
идея базируется на анализе и обобщении имеющегося опыта исследований гидродинамических и магнитогидродинамических течений;
установлено качественное согласие результатов линейного анализа устойчивости с результатами прямого численного моделирования для течения Гартмана с неоднородным пространственным распределением электропроводности;
использованы эффективные и верифицированные численные методы и программные комплексы.

Личный вклад соискателя состоит в выводе уравнения для стационарного профиля скорости течения Гартмана жидкости с неоднородным распределениям вязкости и электропроводности, получении и обработке большинства результатов численных расчетов. Прямое численное моделирование течения электропроводящей жидкости в канале выполнено совместно с Д.С. Красновым. Обсуждение и анализ результатов осуществлены совместно с научным руководителем П.Г. Фриком и соавторами публикаций.

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 устойчивости течения электропроводящей жидкости во внешнем магнитном поле при учете неоднородности свойств среды, результаты которой могут быть востребованы для проектирования систем охлаждения энергетических установок, в которых жидкие металлы используются в качестве теплоносителя. Результаты исследования поведения решений различных простых моделей звездного динамо вносят вклад в понимание механизмов, отвечающих за формирование астрофизических магнитных полей.

На заседании 11 ноября 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Окатьеву Р.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, участвовавших в заседании, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, воздержался – 0, не проголосовало – 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.

13 ноября 2026 г. М.П.