Отзыв

официального оппонента на диссертацию Окатьева Романа Сергеевича «Генерация, перенос и диффузия неоднородностей в магнитогидродинамических течениях»

на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность диссертационной работы. Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию влияния неоднородности свойств проводящих сред на структуру и устойчивость МГД-течений, а также анализу динамики развитых турбулентных течений с неоднородностями, которые могут влиять как на результаты регистрации характеристик потока, так и на временную динамику (спектральные свойства), генерируемых МГД-системами космических масштабов. В работе рассматриваются разномасштабные задачи, имеющие отношение к металлургии и астрофизике. Работа согласуется с Перечнем основных направлений технологической модернизации РФ (1. Энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (1. Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика) и связана с разработкой критических технологий РФ (2. Технологии создания энергетических систем с замкнутым топливным циклом). Диссертация подготовлена в пользующейся мировой известностью научной школе Пермского Федерального Исследовательского Центра (филиала – Института механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук под руководством доктора физико-математических наук, профессора Фрика П.Г. Таким образом, представленную диссертацию можно признать актуальной.

Научная новизна этой фундаментальной работы не вызывает сомнений, несмотря на ее некоторую эклектичность.

1. В задаче Гартмана для жидкости с линейным поперек канала распределением электропроводности получены асимметричные стационарные профили скорости, характеризующиеся наличием точек перегиба, и обнаружены два типа линейной неустойчивости, связанные с неустойчивостью гартмановского погранслоя (НГП) и с наличием точки перегиба вблизи максимума в профиле скорости (НТП).
2. Показано, что критическое число Рейнольдса для НГП снижается с увеличением градиента электропроводности, а критическое число Рейнольдса для НТП оказывается на порядок ниже по сравнению с критическим числом Рейнольдса для НГП при больших градиентах.
3. Показано, что в жидких металлах, которые характеризуются высокими значениями теплопроводности, диффузионный эффект может приводить к систематическому завышению оценки скорости при использовании течения методом лагранжевых меток.
4. На основе коэффициента заполнения гистограммы времен возвращения предложена простая мера оценки степени хаотичности решений динамической системы, которая позволяет разделять периодические и хаотические режимы, а также уровень хаотичности каждого режима.
5. Исследована область динамического хаоса маломодовой модели Паркера и выявлено существование окон периодичности, а также увеличение степени хаотичности колебаний с ростом динамо-числа.

Практическая полезность работы обоснована. Так, ее результаты могут быть использованы для оценки возможности возникновения неустойчивости течения жидких металлов в системах охлаждения энергетических установок вследствие локального искажения

свойств рабочей жидкости. Также они могут быть применены при разработке методик измерения скорости и создании расходомеров для течений жидких металлов.

Апробация работы вполне приемлемая. По диссертации сделано 6 публикаций, включенных в список ВАК и/или входящих в мировые индексы цитирования (SCOPUS, Web of Science), включая статьи в Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics и Physics of Fluids.

Достоверность результатов обеспечивается использованием проверенных открытых программных кодов (Dedalus) и библиотек для обработки сигналов и решения обыкновенных дифференциальных уравнений (SciPy). Методы решения предварительно тестировались на классических задачах, имеющих известное решение. Для ряда задач получено хорошее соответствие результатов при использовании различных методов. Результаты расчетов хорошо соотносятся с результатами работ других авторов в предельных случаях.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 138 страниц текста, включая 52 рисунка и 5 таблиц. Список литературы содержит 180 наименований. Следует отметить, что ссылки на работы оппонента имеются.

Диссертация Окатьева Р.С. «Генерация, перенос и диффузия неоднородностей в магнитогидродинамических течениях» производит неоднозначное впечатление. Безусловно она написана очень умным человеком, хорошо читается, приятно воспринимается. Но невозможно отделаться, от ощущения, что видишь набор миниатюр. Рассмотрены сильно разномасштабные задачи: течения металлов с намеком на «Брест», металлургия и астрофизика. Налицо эклектика, как следствие, нет взаимосвязанности в структуре работы. Вот такая она, эта замечательная работа. Неоднородные среды в магнитных полях. Хочется вспомнить классика - академика Струминского В.В. с его обобщенной трактовкой неоднородных сред, включая в них турбулентность. Похоже, что грядет обобщение его концепции на МГД течения, включая астрофизику.

О содержании работы Окатьева Р.С. можно сформулировать несколько тезисов. Эта исключительно теоретическая работа навряд ли может быть отнесена к вычислительным, расчетным исследованиям с применением компьютеров. Скорее ее можно классифицировать как аналитическую с использованием упрощенных математических моделей. Тем не менее, она вызывает интерес.

Квалификационная состоятельность работы Окатьева Р.С. как кандидатской диссертации по физико-математическим наукам по специальности 1.1.9 не вызывает сомнений.

Тем не менее, по работе есть ряд замечаний.

1.В первой главе диссертации в пункте 1.4 Математическое моделирование МГД- систем содержится краткий обзор пакетов и моделей турбулентности. Оппонент хотел прежде всего отсутствие упоминания пакета ANES, разработанного в МЭИ бригадой Г.Г. Янькова и ориентированного в том числе на решение задач МГД. Однако далее, после чтения работы у него сложилось мнение, что серьезное численное исследование с применением «тяжелых» пакетов автором не планировалось. Поэтому многое из представленного обзора для данной работы просто не востребовано.

2. В второй главе рассматривается еще одна возможная причина искажения профиля скорости течения, а именно за счет неоднородности свойств жидкости. Возникает вопрос. Имеется ли экспериментальная проверка такой возможности? И все-таки насколько справедливо предположение о линейном распределении электропроводности?

3. На стр.70 отмечается, что «в действительности с ростом амплитуды возмущений поперечный перенос скалярного поля, которое определяет распределение электропроводности, становится значительным. Это приводит к существенному искажению исходного распределения σ». И тогда вопрос? Какова погрешность или неопределенность прогнозов? Должно задать вопрос о сетках, минимальных шага у стенки и сеточной сходимости. Как зависят гидравлические потери от неоднородностей?

4. Забавно, но МГД течений в третьей главе Оппонент не увидел.

5. Любопытный абзац в четвертой главе, требующий пояснения. «Необходимым условием реализации такого процесса (генерации крупномасштабного магнитного поля астрофизическими объектами) наряду с дифференциальным вращением является наличие спиральности, появление которой обуславливается влиянием вращения системы на мелкомасштабные конвективные вихревые структуры. В этом смысле неоднородность проводящей среды является определяющим фактором, обеспечивающим нетривиальную динамику процесса». Слово тривиальный опасное, как и слово очевидно!

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Заключение

Указанные замечания не умаляют общей положительной оценки диссертации Окатьева Романа Сергеевича, которая является законченной научно-квалификационной работой, посвященной оценке влияния неоднородности свойств проводящих сред на структуру и устойчивость МГД-течений, а также анализу динамики развитых турбулентных течений с неоднородностями. Выполненная работа удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении ученых степеней", а ее автор Окатьев Роман Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент

Заведующий лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы, профессор

Исаев Сергей Александрович

28 сентября 2026 года

isaev3612@yandex.ru 196210, СПб, Пилотов, 38, info@spbguga.ru, 9214045516

Подпись профессора Исаева С.А. заверяю

Проректор по научной и инновационной работе

Г.А. Костин