

ОТЗЫВ

**На автореферат диссертации Холодовой Светланы Евгеньевны
«Математическое моделирование и анализ течений и волн
во вращающихся и электропроводных жидких средах», представленной
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы**

Диссертационная работа С.Е.Холодовой посвящена решению ряда задач геофизической гидродинамики. Проведено математическое моделирование пространственных волновых движений с последующей аналитической реализацией динамических процессов в сплошных средах с учетом физических особенностей, в частности в сжимаемых, несжимаемых однородных и неоднородных средах при наличии магнитного поля и силы Кориолиса, в электропроводных средах с различной степенью проводимости. Задача решается в рамках идеальной жидкости. Большое место в работе отведено исследованию волновых движений во вращающейся электропроводной жидкости. Особое внимание уделено квазигеострофическим движениям, на природу возникновения и характер распространения которых оказывает большое влияние вращение жидкого слоя.

В последнее время в вычислительной математике происходит стремительное расширение областей применения численных, в первую очередь разностных методов, из традиционной сферы моделирования теплопроводности и течений аэродинамики в самые различные сферы деятельности, начиная от течений со сложными химическими реакциями, прочностных задач до моделирования биологических объектов, течений крови и функционирования сердечной мышцы и кровеносной системы человека. Особый интерес представляют подходы к системе уравнений, описывающих течения в развитом электромагнитном поле.

При всей универсальности прямого численного моделирования для практически любой математической модели необходимо учитывать потребность численных методов в надежном и разностороннем тестировании, которое может быть произведено при использовании широкого набора известных аналитических и приближенных решений соответствующей математической модели.

При этом аналитические решения могут предоставить конкретные значения и параметры течений, которым должны удовлетворять результаты вычислительного эксперимента.

Отдельные численные расчеты, как правило, не позволяют качественно оценить волновой процесс в пространственно-временном масштабе.

Задачи, для которых получены аналитические решения, выступают в роли эталонов, позволяющих глубже понять математическую модель и соответствующее физическое явление. Аналитические решения позволяют выявить некоторые эффекты и связи, которые сложно выявить при прямом численном моделировании. Знание этих эффектов может определить направление исследования общих моделей.

Естественным в этой связи представляется выбор в качестве математической модели, в частности, кинематической модели земного динамо, в которой поле скоростей жидкости в системе уравнений Максвелла считается заданным, и по нему определяется магнитное поле. Многие авторы придерживаются именно такого подхода, но для выявления реальной картины поля скоростей кинематической теории недостаточно, и логичным важным продолжением исследований в рассматриваемой области является разработка различных вариантов полной магнитогидродинамической теории, чем и характерны результаты, представленные в диссертационной работе.

В работе проводится обсуждение влияния величины магнитного числа Рейнольдса на развитие в течении магнитного поля. Спецификой предлагаемой работы является то, что рассматриваются краевые задачи с усложненной топографией, при этом используется полная система магнитогидродинамических уравнений, в уравнениях движения которой учитываются инерционные силы, а также производится учет диссипативных эффектов. Указано, что имеются экспериментальные подтверждения роста магнитного поля, поддерживаемого движением расплавов металлов.

Данное исследование может иметь применение при изучении жидкометаллических течений в охлаждающих системах ядерных реакторов.

В представленной работе осуществляется математическое моделирование динамических процессов во вращающихся неэлектропроводной и электропроводной жидкостях в областях с различной топологией рельефа. Проведен анализ уравнений идеальной сжимаемой вращающейся жидкости с целью построения аналитических решений возникающих задач. Исследовано влияние диссипативных магнитных факторов в задачах о волновых движениях электропроводных жидкостей.

Исследования проведены на основе аналитических методов редукции, метода возмущений и метода малого параметра, использованием аппарата функций Грина.

В рассматриваемой работе рассматривались течения при воздействии длинных нелинейных волн на сооружения с вертикальной гранью, получено

точное решение при переменной топографии дна. Точное решение получено также в сферической геометрии.

Решена задача об излучении волн во вращающуюся сжимаемую жидкость плоской горизонтальной и вертикальной стенками, совершающими гармонические колебания.

Проведено сведение нелинейной задачи о течении электропроводной вращающейся жидкости к краевой задаче для уравнения Гельмгольца. Ряд краевых задач для течений во вращающемся сферическом слое идеальной несжимаемой жидкости приведены к задаче для одного уравнения.

Представлено решение для волн малой и конечной амплитуды для построенной автором модели пространственных крупномасштабных течений во вращающемся слое переменной глубины идеальной электропроводной несжимаемой жидкости, с учетом диссипативных эффектов, сферической геометрии и особенностей экваториальной зоны сферического слоя.

При анализе полученных аналитических решений установлены:

- возможность существования режима периодических колебаний в стратифицированной электропроводной вращающейся жидкости;
- существенное изменение магнитогидродинамических величин в сферическом слое жидкости при изменении термодинамических граничных условий;
- существование волновых движений в экваториальной области под влиянием меридиональной компоненты магнитного поля;
- сохранение индуцированного магнитного поля после прекращения действия внешнего магнитного поля;
- влияние диффузии магнитного поля на его генерацию.

Представленная работа несомненно имеет практическую значимость. Полученные результаты могут найти применение при исследовании:

- взаимодействия внутренних и поверхностных волн с вертикальными стенками гидротехнических сооружений при проектировании и прогнозировании возможных режимов динамической нагрузки;
- в задачах геофизики и астрофизики при изучении процессов, происходящих в жидком ядре Земли и недрах звезд;
- процессов самовозбуждения магнитного поля в течениях жидкого металла в охлаждающих системах ядерных реакторов.

Автором выносятся на защиту следующие основные результаты:

- построены точные решения редуцированных уравнений для ряда краевых задач с распределением магнитогидродинамических характеристик;
- построены аналитические решения задачи о генерации магнитного поля при наличии внешнего магнитного поля с различной топологией;

- построен ряд математических моделей, описывающих физические процессы в электропроводной и неэлектропроводной сплошной среде;
- полученные аналитические решения моделируют влияние диффузии магнитного поля на процесс его генерации;
- доказано существование волновых колебаний, обусловленных совместным действием магнитной силы, сил гравитации, силы Кориолиса и граничными условиями, а также существование неустойчивых волновых течений электропроводной жидкой среды;
- доказано существование индуцированного магнитного поля на сколь угодно длительном промежутке времени, в том числе при отключении фонового внешнего магнитного поля.

Содержание автореферата свидетельствует о том, что диссертационная работа представляет собой научный труд на актуальную тему, содержащий решение задач, имеющее существенное значение для развития механики сплошной среды, как в теоретическом, так и в практическом направлениях.

Диссертация «Математическое моделирование и анализ течений и волн во вращающихся и электропроводных жидких средах» удовлетворяет всем требованиям ВАК и «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. 28.08.2017 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, в том числе требованиям пункта 9 (абзац 1), а ее автор – Холодова Светлана Евгеньевна – заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Мартюшов Сергей Николаевич,
 доктор физ.-мат. наук
 профессор кафедры № 804
 Московского авиационного института-
 Национального исследовательского университета
 Волоколамское шоссе д.4,
 г. Москва, А-80, ГСП-3,
 E-mail: martyush@mail.ru
 Тел.: +7 963 787 14 01

24 мая 2018 г.

Подпись профессора
в.о. декана

С.М. заверено
купл. Куваев Н.А.