

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Дубовика Алексея Олеговича «Численные и аналитические методы решения задач динамики магнитной жидкости, протекающей в трубах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа Дубовика А. О. посвящена разработке, исследованию и применению численных и аналитических методов решения задач моделирования течения вязкой несжимаемой жидкости, подверженной объемному воздействию магнитным полем. Диапазон задач, связанных с анализом течения магнитной жидкости при воздействии внешних полей, крайне широк, от проблемы освоения трудноизвлекаемых запасов нефти до проблемы стратификации жидкости в условиях микрогравитации. Основной акцент в работе сделан на верификации результатов численного решения, для чего был выделен класс точных решений уравнений магнитной гидродинамики, отвечающий слоистому течению жидкости, представлено аналитическое решение ряда тестовых задач. Верификация результатов численного моделирования является необходимым условием принятия любых решений при использовании программного обеспечения, тем более распространенного коммерческого, когда не представляется возможным получить доступ к используемому программному коду.

Материалы диссертационной работы изложены на 119 страницах, содержат 26 рисунков и 10 таблиц. Предлагаемый текст включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы из 109 источников.

Во введении обсуждается актуальность выбранной темы, излагаются цели и решаемые задачи исследования. Приводится необходимая формальная информация о предмете и объекте исследования, обосновывается научная новизна, практическая и теоретическая значимость диссертационной работы

и достоверность полученных результатов. Описываются основные авторские положения, выносимые на защиту.

В первой главе дается содержательный обзор численных методов решения уравнений магнитной гидродинамики, приводятся аргументы в пользу использования методов конечных разностей и контрольных объемов. Проведен обзор точных решений уравнений МГД, которые могут быть использованы для верификации программного обеспечения. При этом нестационарные решения, позволяющие изучать устойчивость течений магнитной жидкости в трубах, получены спектральными методами. Очерчен круг прикладных задач, сводящихся к обобщенным спектральным задачам, проведен обзор численных методов нахождения спектра квадратичного пучка операторов.

Во второй главе исследовано точное решение уравнений МГД, описывающее слоистое течение жидкости в неограниченном плоском слое, доказана соответствующая теорема о представлении решения рассматриваемой системы уравнений магнитной гидродинамики. Описано разработанное программное обеспечение, основанное на методе конечных разностей с вариантом явной центрально-разностной схемы, используемое для моделирования тепловыделения и изменения геометрии области для слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости, проведены тестовые расчеты для типовых методических примеров. Аналитическое решение тестовых задач получено методом разделения переменных и использовано для экспериментальной оценки погрешности расчетов с помощью разработанного автором программного комплекса, показавшей его высокую точность.

В третьей главе представлены аналогичные результаты, что и во второй, при этом слоистое течение жидкости рассматривается в бесконечном цилиндре и бесконечном коаксиальном цилиндре. Программное обеспечение разработано на основе неявного метода контрольных объемов и при использовании технологии параллельных многопоточковых вычислений с

помощью системы OpenMP, для решения возникающих систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) использовалась библиотека LIS, находящаяся в свободном доступе. Также автором построено и исследовано аналитическое решение тестовых задач, полученное методом разделения переменных, проведена оценка погрешности расчетов, показавшая их достаточную адекватность для характерных значений исходных данных.

Четвертая глава посвящена построению и обоснованию нового итерационного алгоритма нахождения спектра квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов. Проведено его теоретическое обоснование, как в плане сходимости последовательных приближений, так и в отношении свойств получаемых решений. Разработанный итерационный алгоритм применен при решении задачи о резонансной потере устойчивости трубы, рассматриваемой в тросовом приближении, с протекающей магнитной жидкостью. Представлены апостериорные оценки погрешности алгоритма, демонстрирующие высокую эффективность предложенных подходов в широком спектре исходных данных.

В заключение представлены основные результаты диссертационной работы, рекомендации по их использованию и направления дальнейших исследований.

А.О.Дубовиком получены интересные и содержательные результаты, которые можно резюмировать следующим образом.

1. Описан и исследован класс точных решений уравнений МГД, соответствующий слоистому течению жидкости в неограниченном плоском слое, бесконечном цилиндре и в бесконечном коаксиальном цилиндре. Помимо своего самостоятельного значения для первичного изучения физических процессов, аналитические модели являются также незаменимым средством для верификации численных методов.

2. Разработан комплекс программ, реализующий разработанные явные и неявные алгоритмы решения многомерных начально-краевых задач

магнитной гидродинамики ,позволяющий моделировать слоистое течение вязкой магнитной несжимаемой жидкости, с помощью которого проведено экспериментальное исследование эффективности предложенных автором подходов.

3.Доказана сходимостъ построенного автором итерационного алгоритма нахождения спектра квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов, полнота системы собственных функций на образе этих операторов, монотонный рост и неограниченность последовательности модулей собственных значений, найденных по итерационному алгоритму, представлены оценки членов этой последовательности. Показано, что задача нахождения собственных частот колебания трубы с протекающей магнитной жидкостью равносильна спектральной задаче для квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов. Проведено тестирование алгоритма, показавшее его высокую точность.

Выводы, утверждения и положения, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и достоверными ввиду всесторонней верификации результатов расчетов и корректностью доказательства теорем и других аналитических выкладок.

Автореферат отражает содержание и выводы диссертационной работы. Тема диссертации и ее содержание соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, включая 7 публикаций в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи в журналах, входящих в международных системы цитирования Scopus, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

По представленному тексту можно сделать следующие замечания.

1. В диссертационной работе следовало бы детально рассмотреть экспериментальные результаты взаимодействия электромагнитного излучения с нефтью для более реальных данных.

2. Желательно бы обсудить эффективность распараллеливания, в том числе с использованием системы MPI на кластерных компьютерах для решения больших производственных задач.

3. При создании прикладного программного комплекса автор при решении вспомогательных задач (решение СЛАУ, вычисление интегралов) применяет слишком тривиальные алгоритмы. Для повышения производительности кода легко можно было бы использовать более эффективные известные методы.

В целом диссертация Дубовика А. О. является законченным научным исследованием, выполненным на хорошем научном уровне, и содержит новые и практически значимые результаты. Разработанные в диссертации подходы и алгоритмы целесообразно использовать для разработки и верификации программного обеспечения, позволяющего решать актуальные задачи динамики магнитной жидкости.

Считаю, что диссертационная работа Дубовика Алексея Олеговича «Численные и аналитические методы решения задач динамики магнитной жидкости, протекающей в трубах» соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Дубовик А.О. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13-18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

«15» февраля 2018 г.

Официальный оппонент –
главный научный сотрудник

лаборатории вычислительной физики

ИВМиМГ СО РАН

д. ф.-м. н., профессор

Ильин Валерий Павлович

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук

Телефон: +7 (383) 330-60-62

E-mail: ilin@sscc.ru

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Подпись В. П. Ильина заверяю

Ученый секретарь

ИВМиМГ СО РАН

д. ф.-м. н.



Куликов И.М.