

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 13 марта 2018 г.

Соискатель: **Дубовик Алексей Олегович.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Численные и аналитические методы решения задач динамики магнитной жидкости, протекающей в трубах».

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

На заседании председательствует – Председатель диссертационного совета, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИН.

Ученый секретарь – к.ф.-м.н. М.А. КОРНИЛИНА.

На заседании из 25 членов диссертационного совета присутствовали 19, из них 7 докторов по профилю рассматриваемой диссертации:

| | | |
|-----------------------|-----------|----------|
| 1. ЧЕТВЕРУШКИН Б.Н. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 2. ТИШКИН В.Ф. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 3. КАЛИТКИН Н.Н. | д.ф.-м.н. | 01.02.05 |
| 4. КОРНИЛИНА М.А. | к.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 5. ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 6. ДОЛГОЛЕВА Г.В. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 7. ЕЛИЗАРОВА Т.Г. | д.ф.-м.н. | 01.02.05 |
| 8. КАРАМЗИН Ю.Н. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 9. КОВАЛЕВ В.Ф. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 10. КОЗЛОВ А.Н. | д.ф.-м.н. | 01.02.05 |
| 11. КОЛЕСНИЧЕНКО А.В. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 12. КУЛЕШОВ А.А. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 13. ЛУЦКИЙ А.Е. | д.ф.-м.н. | 01.02.05 |
| 14. МАЖУКИН В.И. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 15. МИЛЮКОВА О.Ю. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 16. МИХАЙЛОВ А.П. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |
| 17. ПЕТРОВ И.Б. | д.ф.-м.н. | 01.02.05 |
| 18. ПОЛЯКОВ С.В. | д.ф.-м.н. | 01.01.07 |
| 19. ЯКОВОВСКИЙ М.В. | д.ф.-м.н. | 05.13.18 |

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФГУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»,
ФАНО РОССИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от « 13 » марта 2018 г., № 9

О присуждении **Дубовику Алексею Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численные и аналитические методы решения задач динамики магнитной жидкости, протекающей в трубах» по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 11 января 2018 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д002.024.03 на базе ФГУ «ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН», 125047, Москва, Миусская пл., д.4, приказ №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Дубовик Алексей Олегович**, 1992 года рождения.

В 2014 г. соискатель окончил Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» по специальности «Прикладная математика и информатика».

С 2014 г. соискатель обучается в очной аспирантуре Бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2017 г. Сургутским государственным университетом.

В настоящее время соискатель продолжает обучение в очной аспирантуре Сургутского государственного университета по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Диссертация выполнена в Сургутском государственном университете. Учредитель университета – Ханты-Мансийский автономный округ–Югра.

Научный руководитель:

Галкин Валерий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, директор Политехнического института Бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет».

Официальные оппоненты:

Ильин Валерий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук;

Гинкин Владимир Павлович, доктор физико-математических наук, с.н.с., заместитель директора – начальник отдела экспертиз ООО «МАТЭК», дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Механико-математический факультет, г. Москва, в своем **положительном отзыве**, подписанном **Чубариковым Владимиром Николаевичем**, доктором физико-математических наук, профессором, и. о. декана Механико-математического факультета, и **Звягиным Александром Васильевичем**, доктором физико-математических наук, профессором, ученым секретарем кафедры газовой и волновой динамики Механико-математического факультета, и утвержденным **Федяниным Андреем Анатольевичем**,

доктором физико-математических наук, профессором, проректором МГУ, указала, что диссертационная работа Дубовика А. О. является законченной научно-квалификационной работой и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Дубовик Алексей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

В отзыве отмечено, что значимость полученных результатов заключается в разработке программного комплекса и итерационного алгоритма нахождения спектра квадратичного пучка операторов, которые могут быть использованы при моделировании течения магнитной жидкости по трубам, а найденные точные решения уравнений МГД могут быть использованы для верификации подобного программного обеспечения. Результаты работы могут быть использованы в прикладных и теоретических исследованиях, проводимых в научных организациях по этой тематике, например МГУ имени М.В. Ломоносова, МФТИ, ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», ИТПМ СО РАН, НИЯУ МИФИ.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ (с учетом тезисов конференций - 18 работ), все по теме диссертации, из них 7 работ в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, одна работа в рецензируемом научном издании [8] и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [9]:

1. Тараканов В.И., Дубовик А.О. Итерационный алгоритм нахождения спектра квадратичного пучка операторов в гильбертовом пространстве // Сиб. журн. вычисл. матем. 2015. Т. 18. № 1. С. 79-93. (Tarakanov, V.I., Dubovik, A.O. An iterative algorithm for calculation of spectral parameters of a quadratic bunch of operators in the Hilbert space // Numerical Analysis and Applications. V. 8, I. 1. 2015. P. 68-80).
2. Бетелин В.Б., Галкин В.А., Дубовик А.О. Об управляемом слоистом течении вязкой несжимаемой жидкости в модели МГД // ДАН. 2016. Т. 470. № 2. С. 150-152. (Betelin, V.B., Galkin, V.A., Dubovik,

- A.O. On the control of layered flow of a viscous incompressible fluid within MHD // Doklady Mathematics. Volume 94. I. 2. 2016. P. 591-593).
3. Галкин В. А., Дубовик А. О., Епифанов А. А. Приближенные методы для уравнений несжимаемой жидкости // ЖВМ и МФ. 2017. Т. 57. № 2. С. 275 – 284. (Galkin V. A., Dubovik A. O., Epifanov A. A. Approximate Methods for equations of incompressible fluid // Comput. Math. and Math. Phys. Pleiades Publishing. 2017. V 57. No. 2. P. 272 – 280.)
 4. Галкин В. А., Дубовик А. О. Об управлении тепловыделением в течении вязкой несжимаемой жидкости посредством движения границы области течения // Вестник кибернетики. Сургут: СурГУ. 2015. № 3 (19). С. 144 - 147.
 5. Галкин В. А., Дубовик А. О. О моделировании слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости во вращающейся трубе // Вестник кибернетики. Сургут: СурГУ. 2017. № 2 (26). С. 58 – 65.
 6. Галкин В. А., Дубовик А. О. О моделировании слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости во вращающейся коаксиальной трубе // Вестник кибернетики. Сургут: СурГУ. 2017. № 3 (27). С. 128-137.
 7. Галкин В. А., Дубовик А. О. О моделировании тепловыделения в слоистом течении вязкой магнитной несжимаемой жидкости во вращающейся трубе // Вестник кибернетики. Сургут: СурГУ. 2017. № 4 (28). С. 56-61.
 8. Галкин В. А., Дубовик А. О. Об управлении параметрами течения вязкой несжимаемой жидкости посредством движения границы области течения // Вестник кибернетики. Сургут: СурГУ, 2016. № 1 (21). С. 25–28.
 9. Галкин В. А., Дубовик А. О. Локальная 3D модель слоистых управляемых течений: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611813; правообладатель БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.02.2017.

В совместных исследованиях автором рассмотрена модель слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости, в результате чего выделен класс точных решений уравнений МГД, соответствующий слоистому течению в неограниченном плоском слое [2–4, 8], бесконечном цилиндре [5,7], бесконечном коаксиальном цилиндре [6]. Автором самостоятельно разработан комплекс программ, позволяющий моделировать динамику слоистого течения магнитной жидкости [9]. Автором в совместных исследованиях разработан итерационный алгоритм нахождения спектра

квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов в гильбертовом пространстве и самостоятельно выполнена его численная апробация [1]. Недостоверных сведений в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах не выявлено. Общий объем публикаций 7.4 п.л., авторский вклад соискателя 4.5 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Положительный отзыв **оппонента** доктора физико-математических наук, профессора **Ильина Валерия Павловича**. В отзыве указаны 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 (решения СЛАУ, вычисление интегралов) применяет слишком тривиальные алгоритмы. Для повышения производительности кода легко можно было бы использовать более эффективные известные методы.

Положительный отзыв **оппонента** доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника **Гинкина Владимира Павловича**. В отзыве указано следующее замечание:

В главе 4 предложен новый итерационный алгоритм нахождения спектра квадратичного пучка операторов, но при этом никак не освещен вопрос о возможности параллельной его реализации, а ведь именно такие алгоритмы являются на данный момент наиболее востребованными при моделировании различных явлений.

Положительный отзыв ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Механико-математического факультета. В отзыве указаны следующие замечания:

- 1) В обзорной главе перечислены численные методы, используемые при решении спектральной задачи для квадратичного пучка операторов и указано, что некоторые из них являются недостаточно точными, в четвертой главе подчеркнуто автором отличие разработанного алгоритма от них. В таком случае следовало бы провести сравнение разработанного алгоритма по точности или по скорости вычисления с существующими вычислительными методами.
- 2) Поскольку в диссертации вводится новое понятие – частично симметричный оператор, то следовало бы обсудить насколько это понятие отражает реальные процессы и перечислить прикладные задачи, решение которых невозможно или значительно затруднено без его использования.

На автореферат диссертации поступило три положительных отзыва.

В отзывах содержатся некоторые замечания.

Губайдуллин Амир Анварович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Тюменского филиала Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, указал следующее замечание:

Не описано, каким образом проводилось сравнение результатов расчетов с аналитическим решением, имеющим представление в виде бесконечном ряда по собственным функциям оператора Лапласа задачи Дирихле.

Старков Сергей Олегович, доктор физико-математических наук, и. о. начальника отделения интеллектуальных кибернетических систем

Обнинского института атомной энергетики — филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»:

Недостаточно освещена эффективность применения технологий параллельных вычислений, следовало провести стандартные исследования производительности программного кода.

Антонов Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, главный эксперт отдела расчетных обоснований проектных решений Акционерного общества «Русатом Автоматизированные системы управления», указал следующие замечания:

1) В автореферате говорится о том, что численное решение интегралов осуществлялось методом трапеций. Известно, что есть методы, например, метод Симпсона или методы Гаусса, которые обеспечивают более высокую точность решения. Применение данных методов является одним из направлений улучшения способов решения поставленной задачи.

2) В тексте автореферата имеют место грамматические опiski и синтаксические неточности. Так, например, в формулировке выражения «решение задачи о резонансной потере» по всему автореферату написано «потери», т.е. имеет место несоответствие падежей. (См. п.7 научной новизны, формулировка теоретической значимости, п.2 положений, выносимых на защиту и т.д.). В некоторых местах имеют место ошибки пунктуации. Например, на стр. 21 пропущена запятая.

Во всех отзывах отмечается, что указанные недостатки не снижают общей ценности работы. По актуальности решаемой проблемы, научной новизне, научной и практической значимости, достоверности научных результатов диссертация удовлетворяет требованиям п.9 Положения о

присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широко известной компетенцией в вопросах математического моделирования, разработки численных методов и алгоритмов их решения, разработке комплексов проблемно-ориентированных программ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1) По итогам исследования модели слоистого течения жидкости, **выделен** класс точных решений уравнений магнитной гидродинамики, соответствующий слоистому течению жидкости в следующих областях: неограниченный плоский слой, бесконечный цилиндр, бесконечный коаксиальный цилиндр.
- 2) **Разработан** итерационный алгоритм нахождения спектра квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов. Выполнена его численная апробация на задаче о резонансной потере устойчивости трубы с протекающей магнитной жидкостью, показавшая его эффективность.
- 3) **Разработан** комплекс программ для проведения вычислительного эксперимента по моделированию слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости. Найденные точные решения уравнений МГД использованы для верификации разработанного программного обеспечения, показавшей его эффективность.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны теоремы, позволяющие выделить класс точных решений уравнений магнитной гидродинамики, соответствующий слоистому течению жидкости в следующих областях: неограниченный плоский слой, бесконечный цилиндр, бесконечный коаксиальный цилиндр. Доказана теорема о

существовании решения спектральной задачи для квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов в гильбертовом пространстве, сходимости итерационного алгоритма. Доказана теорема о полноте системы собственных функций на образе операторов, монотонности и неограниченном росте последовательности модулей собственных значений, существовании двусторонней оценки для каждого члена последовательности. Для задачи о резонансной потере устойчивости трубы с протекающей магнитной жидкостью доказана равносильность исследования ее дифференциальной постановки и спектральной задачи для квадратичного пучка компактных частично симметричных операторов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанный программный комплекс может быть использован для моделирования отклика слоистого течения жидкости на объемное воздействие магнитным полем и движения границы области течения. Разработка подобного программного обеспечения является одним из направлений на пути освоения трудноизвлекаемых запасов нефти и создания отечественной технологии «цифровое месторождение».

Найденные точные решения уравнений МГД могут быть использованы для верификации широкого класса программного обеспечения, основанного на решении уравнений МГД не обязательно несжимаемой жидкости, но и сжимаемой, поскольку первое является подмоделью второго, позволяющего решать такие задачи, как освоение трудноизвлекаемых запасов нефти, гемодинамики, управляемого термоядерного синтеза и др.

Достоверность теоретических результатов обосновывается корректностью математических доказательств. Достоверность численных результатов обеспечивается применением теоретически обоснованных численных методов и верификацией результатов расчетов, показавшей высокую точность разработанного программного обеспечения.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе модели и ее теоретическом исследовании, исследовании операторных

уравнений на собственные значения, теоретическом обосновании разработанного итерационного алгоритма. Соискатель самостоятельно разработал программное обеспечение, позволяющее моделировать слоистое течение магнитной жидкости, реализовал итерационный алгоритм, провел отладку и тестирование.

На заседании 13 марта 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Дубовику А. О. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук, имеющих научную специальность 05.13.18, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

Д 002.024.03, академик РАН

Б. Н. Четверушкин

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 002.024.03, к.ф.-м.н.

М. А. Корнилина

13 марта 2018 года