

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 18 ноября 2021 г.

Соискатель: Рязанов Даниил Александрович.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Бигармонические аттракторы внутренних волн».

Специальность 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отрасль наук: физико-математические науки.

Председатель: академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИН.

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

На заседании из 24 человек, входящих в состав совета, присутствовали 18, из них очно - 15 человек, удаленно – 3 человека, в том числе 5 специалистов по профилю рассматриваемой диссертации:

№	Фамилия, И.О.	Учёная степень	Шифр специальности в совете	Присутствие
1.	ТИШКИН В.Ф.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
2.	ЯКОВОВСКИЙ М.В.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
3.	КОРНИЛИНА М.А.	к.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
4.	АНДРЕЕВ В.Б.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	удаленно
5.	АРИСТОВА Е.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
6.	ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
7.	ГАРАНЖА В.А.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
8.	ЕЛИЗАРОВА Т.Г.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
9.	ЗМИТРЕНКО Н.В.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
10.	КОВАЛЕВ В.Ф.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
11.	КОЗЛОВ А.Н.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	удаленно
12.	КОЛЕСНИЧЕНКО А.В.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	удаленно
13.	КУЛЕШОВ А.А.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
14.	ЛУЦКИЙ А.Е.	д.ф.-м.н.	1.1.9.	очно
15.	МАЖУКИН В.И.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
16.	МЕНЬШОВ И.С.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно
17.	ПОЛЯКОВ С.В.	д.ф.-м.н.	1.1.6.	очно
18.	ШПАТАКОВСКАЯ Г.В.	д.ф.-м.н.	1.2.2.	очно

При проведении тайного голосования по вопросу присуждения ученой степени в системе электронного голосования Кристо Вече 18 человек: за – 14, против – нет, воздержались – 4.0.

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял решение: присудить Рязанову Даниилу Александровичу ученою степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение диссертационного совета приведено ниже:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.237.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.11.2021 № 6

О присуждении **Рязанову Даниилу Александровичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Бигармонические аттракторы внутренних волн», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – «Механика жидкости, газа и плазмы», принята к защите 30 августа 2021 года (протокол заседания № 6/пз) диссертационным советом 24.1.237.01 (Д 002.024.03) на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утверждён приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Рязанов Даниил Александрович**, 06 ноября 1992 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский

университет)», получил диплом бакалавра по специальности «Механика. Прикладная математика».

В 2016 году получил диплом магистра по направлению «Механика и математическое моделирование» на механико-математическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

В 2020 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории свободного программного обеспечения цифрового моделирования технических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук.

Научный руководитель – Сибгатуллин Ильяс Наилевич, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Официальные оппоненты:

Петров Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института проблем механики А.Ю. Ишлинского РАН.

Нуриев Артем Наилевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры аэрогидромеханики института математики и механики им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук в положительном отзыве, составленном сотрудниками Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН Любимовой Татьяной Петровной, доктором физико-математических наук, профессором, заведующей лабораторией вычислительной гидродинамики и Голдобиным Денисом Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией подземной утилизации углерода, и утверждённом директором ПФИЦ УрО РАН, доктором технических наук, академиком РАН Баряхом Александром Абрамовичем, указала, что диссертация Д.А. Рязанова является законченным научно-квалификационным исследованием на актуальную тему, в которой изложены результаты моделирования бигармонических аттракторов внутренних волн и разработка реализации квазигидродинамического подхода. В отзыве говорится о значимости работы с практической и научной точки зрения для развития методов моделирования динамики стратифицированной жидкости в условиях, приближенных к реальным. Работа представляет интерес для исследователей стратифицированной жидкости и внутренних волн, их моделирования, количественного и качественного анализа динамики стратифицированной жидкости. Разработанный программный комплекс на базе квазигидродинамического подхода может быть использован при численном моделировании сжимаемой жидкости в приближении Буссинеска.

Диссертационная работа Рязанова Даниила Александровича «Бигармонические аттракторы внутренних волн» удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликовано 2 работы. В изданиях, индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus – 5 работ. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее существенные работы соискателя:

[1] Development of OpenFOAM solver for compressible viscous flows simulation using quasi-gas dynamic equations / M. V. Kraposhin, D. A. Ryazanov, E. V. Smirnova et al. // 2017 Ivannikov ISPRAS Open Conference (ISPRAS). — Vol. 1. — United States: United States, 2017. **(Scopus)**

[2] Numerical simulation of compressible gas flows using regularized gas dynamic equations solver qgdfoam / M. V. Kraposhin, T. G. Elizarova, M. A. Istomina, D. A. Ryazanov, K. A. Vatutin // AIP Conference Proceedings 1959, 030013 (2018). — Author(s), 2018. **(WoS, Scopus)**

[3] OpenFOAM solver based on regularized hydrodynamic equations for high performance computing / M.V. Shatskiy, D. A. Ryazanov, K. A. Vatutin et al. // 2019 Ivannikov Memorial Workshop (IVMEM) / Ed. by С. П. Прохоров. — IEEE, 2019. **(WoS, Scopus)**

[4] Openfoam high performance computing solver for simulation of internal wave attractors in stratified flows using regularized hydrodynamic equations / M. Kraposhin, D. Ryazanov, T. Elizarova et al. // Proceedings of the 2018 Ivannikov ISPRAS Open Conference (ISPRAS, 22-23 Nov. 2018). — IEEE Xplore Digital Library. — United States: United States, 2018. **(WoS, Scopus)**

[5] Numerical simulation of internal wave attractors in horizontally elongated domains with sloping boundaries / I. Sibgatullin, X. Xiulin, E. Ermanuyk, D.A. Ryazanov et al. // GISTAM 2019 5th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management. — SCITEPRESS Heraklion, Crete, Greece, 2019. — P. 366–370. **(WoS)**

[6] Бигармонические аттракторы внутренних гравитационных волн // Д.А. Рязанов, М.И. Провидухина, И. Н. Сибгатуллин, Е. В. Ерманюк. // Механика жидкости и газа. - 2021, № 3. **(ВАК)**

[7] Программа численного моделирования сжимаемых течений вязкого совершенного газа с помощью регуляризованных уравнений газодинамики (квазигазодинамических уравнений), Т.Г. Елизарова, М. В. Крапошин, Е.В. Смирнова, М.А. Истомина, Д. А. Рязанов, Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2018663951, 7 ноября 2018 г. **(ВАК)**

Общий объем публикаций соискателя в изданиях из перечня ВАК и индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus – 6,625 печ. листа. Авторский вклад соискателя 2,5 печ. листа.

В работах [1,2,3,7] представлена программная реализация квазигидродинамического подхода, разработка модулей, результаты верификации и валидации. В работах [4,5,6] описывается опыт решения автором задач моделирования динамики стратифицированной жидкости и анализ данных из численных экспериментов с волновыми аттракторами.

В совместных работах научному руководителю к.ф.-м.н. И.Н. Сибгатуллину принадлежит выбор темы исследований и постановка задач.

Другие соавторы отвечали за выполнение численных экспериментов, участвовали в разработке программного комплекса, обсуждали постановки задач и результатов.

Научные статьи отражают основные результаты диссертационного исследования. Недостоверных сведений в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах нет.

На автореферат и диссертацию поступили отзывы ведущей организации, отзывы оппонентов, также поступил отзыв на автореферат. Отзывы содержат ряд замечаний.

В отзыве ведущей организации ПФИЦ УрО РАН:

1. Автор неоднократно говорит о расчётах реального океанического дна, при этом продемонстрированы были только двумерные расчеты в трапециевидном резервуаре.

2. Критика алгоритма PISO, которой подвергает автор этот алгоритм, уместна лишь при малых значениях шага по времени и при наличии дополнительных коррекций.

3. Точка пробы, которая используется для количественного анализа результатов численного моделирования, выбрана на одной из сторон аттрактора, в то время как гораздо интересней был бы результат в точках взаимодействия аттракторов.

4. Некоторые эксперименты проведены с основанием сверху.

5. В работе уделяется внимание влиянию вязкости на уширение пучка звуковых волн. Однако, волновой луч конечной ширины испытывает также расфокусировку интерференционной природы, которая тем сильнее, чем больше отношение длины волны к ширине пучка. Интересны оценки влияния этого механизма расфокусировки на ширину пучка звуковых волн в данной задаче.

6. В диссертации не рассматриваются схожие эффекты, возникающие во вращающихся жидкостях.

7. В тексте работы имеются опечатки.

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. А.Г. Петрова:

1. В книге Дж. Бэтчелора «Введение в динамику жидкости» в разделе «применение теоремы о количестве движения» приводится решение задачи о внезапном расширении трубы, в котором по формуле $p_2 = p_1 + \rho U_2(U_1 - U_2)$ определяется давление за уступом при малой вязкости жидкости. Неплохо было бы проверить согласованность этого давления с расчётами автора.

2. Приведённые численные эксперименты исключительно двумерные, хотя, очевидно, что экспериментальные установки, описанные автором в главе номер 2 трёхмерные, как и данные этих экспериментов.

3. В работе часто автор приводит аналогии с океаном, при этом не учитывает температурные распределения в своей работе.

В отзыве официального оппонента к.ф.-м.н. А.Н. Нуриева:

1. В работе рассматриваются только двумерные задачи моделирования аттрактора внутренних волн, при этом не обсуждается диапазон применимости плоской модели.

2. Насколько корректны двумерные модели в области появления «волновой турбулентности». Не являются ли наблюдаемые эффекты особенностью двухмерной модели?

3. Результаты, полученные в работе при помощи метода конечных объемов, сравниваются только с данными численного моделирования методом спектральных элементов. Почему не приводится сравнение с экспериментальными данными?

4. На рисунках рассматриваются различные геометрические конфигурации резервуара, но автор не пояснил чем отличаются эти конфигурации, например, рисунок 2.46 имеет по оси абсцисс значения до 20, а 2.47 уже до 40.

В положительном отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Е.А Михайлова, ФИАН:

1. Небрежное оформление автореферата. На одном из рисунков пакет NEK5000 ошибочно назван NEK500.

2. В списке литературы не указаны принадлежности публикаций к соответствующим базам индексации.

При этом в отзывах отмечается, что указанные замечания не снижают высокой научной и практической значимости работы. В своём выступлении соискатель дал исчерпывающие ответы на замечания, которые отражены в расшифровке стенограммы.

В целом в присланных отзывах отмечается, что диссертационная работа выполнена в соответствии требованиями «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высоким уровнем компетентности по всем основным вопросам, рассмотренным в диссертации о динамике стратифицированной жидкости, что подтверждается перечнем опубликованных работ официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) **Установлено**, что при значительном отличии от частот внешних воздействий и малых амплитудах воздействий волновой режим представляет собой совокупность независимо существующих волновых аттракторов.

2) **Исследованы** биения и малая амплитуда их пульсаций на убывающем склоне огибающей, которые возникают при близких частотах внешних воздействий.

3) **Получено**, что при близких частотах внешних воздействий в средних амплитудах возникают, биения, на одном цикле которых успевает происходить переход к турбулентности через триадные резонансы и последующей реламинаризацией.

4) **Установлено** наличие фазового сдвига между биениями на волнопродукторе и биениями средней кинетической энергии во всем объеме жидкости.

5) **Разработана и верифицирована** новая программа для моделирования аттракторов внутренних волн и в целом динамики стратифицированных сред.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Создана численная модель ранее не изученного режима течения стратифицированной жидкости. Описано количественно и качественно явление бигармонического аттрактора внутренних волн.
- Показаны различные режимы течения в зависимости от близости частот, воздействующих на стратифицированную жидкость.
- Результаты исследования в дальнейшем могут быть использованы для подбора параметров моделирования.
- Комбинация метода конечного объема и квазигидродинамического подхода позволила добиться повышенной точности по сравнению со стандартным алгоритмом PISO. Реализация может быть использована для других задач моделирования движения несжимаемой жидкости в приближении Буссинеска.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Структуры, образующиеся благодаря фокусировке внутренних волн в океане, существенно влияют на стратификацию, перемешивание и распределение примесей. Результаты исследований могут прояснить некоторые механизмы подводной динамики и интересны океанологам. Аттракторы как зона повышенной интенсивности движения жидкости могут служить также и причиной эрозии океанического дна или инженерных конструкций. В применении к вращающимся движениям, волновые аттракторы могут использоваться как один из механизмов интенсификации перемешивания. Из-за сильного роста амплитуды волнового движения в районе волнового аттрактора и возможности сегрегации взвешенных частиц в их окрестности, возможно влияние на динамику мелкоразмерной фауны, микроорганизмов и планктона.

Разработанный программный комплекс имеет преимущества по точности в сравнении с классическим методом конечного объёма и алгоритмом PISO.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

Выкладки, проводимые автором, основаны на общепринятых в научной среде фундаментальных законах. Результаты, полученные при помощи программной реализации на ряде специализированных типовых задач, сравнивались с результатами, полученными при помощи других методов и натуральных экспериментов. Разработанный программный комплекс прошёл верификацию и валидацию, открытый исходный код размещён в открытом доступе, а значит, результаты могут быть воспроизведены любым желающим.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

Основные результаты, изложенные в тексте диссертационной работы, получены лично соискателем в ходе научной деятельности. Соискатель принимал непосредственное участие в разработке реализации квазигидродинамического подхода на базе OpenFOAM. Автор также провёл верификацию и валидацию разработанного комплекса, разработал тесты и производил отладку исходного кода. Диссертант лично получил результаты, касающиеся бигармонических аттракторов, провёл их анализ и самостоятельно сделал выводы, сформулированные в тексте диссертации.

Диссертационный совет заключил, что диссертация Рязанова Даниила Александровича является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи математического моделирования бигармонических аттракторов внутренних волн и имеющей большое значение для расчётов коэффициента перемешивания, распределения примесей в океане, для количественного и качественного анализа динамики стратифицированной жидкости.

На заседании 18 ноября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Рязанову Даниилу Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – Механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования в системе электронного голосования Кripto Вече диссертационный совет в количестве 18 человек участвовавших в заседании (из них очно - 15 человек, удалённо – 3 человека, в том числе 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации) из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, воздержались – 4.

Заместитель председателя

диссертационного совета 24.0237.01

В.Ф. Тишкин

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.0237.01

М.А. Корнилина

18 ноября 2021 года

