

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Нуриева Артема Наилевича на диссертационную работу **Рязанова Даниила Александровича** «Бигармонические аттракторы внутренних волн» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости газа и плазмы»

Актуальность темы диссертации обусловлена неугасающим интересом к тематике внутренних волн, возникающих в стратифицированной среде и во вращающихся жидкостных системах. Теория, представленная в работе, а также результаты моделирования могут быть применены в исследованиях океана и технических систем, где возникают внутренние волны. Описанные в работе свойства внутренних волн, такие как фокусировка и распространение могут непосредственно влиять на процессы вертикального перемешивания и распространения примесей в стратифицированной среде. Зоны интенсивного движения жидкости на лучах аттрактора внутренних волн могут являться причиной эрозии как инженерных сооружений, так и морского дна.

Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, могут быть интересны исследователям океана, вращающихся жидкостей, планетарных слоев, миграции живых организмов. Созданный в результате исследования программный код QHDFoam может быть использован для моделирования широкого класса несжимаемых течений.

Общая характеристика работы. Текст диссертации состоит из введения, где четко изложена цель и задачи диссертационной работы, методы решения поставленных задач, обозначена научная новизна, дана гарантия достоверности полученных в ходе исследования результатов, сказано о практической значимости, перечислены выносимые на защиту положения,

указан личный вклад автора, перечислены конференции и публикации, на которых автор апробировал полученные результаты.

После введения идет глава посвященная обзору литературы. Уделяется внимания истории развития исследований внутренних волн. Дается понятие об общей теории внутренних гравитационных волн: стратификация, возникновение, применяемые математические модели и линеаризованная теория. В конце главы дается понятие об аттракторах внутренних волн и свойствах фокусировки внутренних волн.

Вторая глава сосредоточена на методах исследования аттракторов внутренних волн при помощи линейной теории, экспериментальных установок и численного моделирования. В значительной части второй главы ведется речь о квазигидродинамическом подходе и его реализации на базе открытого программного комплекса OpenFOAM. Рассматриваются сами уравнения, их аппроксимация в терминах метода конечного объема и программная реализация указанного подхода. Уделяется пристальное внимание верификации и валидации разработанного программного кода. Показаны преимущества примененного квазигидродинамического подхода над остальными методами моделирования аттрактора внутренних волн.

В третьей главе рассматриваются волновые движения в замкнутом резервуаре при воздействии на стратифицированную жидкости с двумя частотами, приведены количественные результаты исследования бигармонических аттракторов внутренних волн, для описания эволюции режимов течения используются частотно-временного анализ и графики средней кинетической энергии.

В заключении приведены основные выводы диссертационного исследования. Заканчивается диссертационная работа списком использованных источников.

Научная новизна и достоверность результатов. Несомненную новизну представляют результаты моделирования бигармонических аттракторов внутренних волн: частотно-временная диаграмма, анализ динамики кинетической энергии и гидродинамические поля бигармонического аттрактора внутренних волн, полученные диссертантом, являются новыми результатами.

Достоверность этих результатов обеспечивается строгой математической постановкой решаемой задачи, применением надежных методов математического моделирования, верификацией и валидацией разработанного программного обеспечения.

Практическая ценность результатов. Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, могут быть использованы для дальнейшего исследования аттракторов внутренних волн, изучения параметров при которых они возникают, анализа их свойств. Разработанный программный комплекс может быть использован для моделирования течений несжимаемой жидкости при помощи квазигидродинамического подхода.

Замечания:

- 1) В работе рассматривается только двухмерные задачи моделирования аттрактора внутренних волн, при этом не обсуждается диапазон применимости плоской модели.
- 2) На сколько корректны двумерные модели в области появления «волновой турбулентности». Не являются ли наблюдаемые эффекты особенностью двумерной модели?
- 3) Результаты, полученные в работе при помощи метода конечных объемов, сравниваются только с данными численного моделирования методом спектральных элементов. Почему не проводится 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.

Перечисленные замечания не снижают общей ценности работы. Содержание диссертации Д. А. Рязанова соответствует специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы». Исследования выполнены диссертантом на должном научном уровне, результаты представляют важность и интерес для научного сообщества, они в полной мере представлены в публикациях и корректно отражены в автореферате.

Считаю, что диссертационная работа «Бигармонические аттракторы внутренних волн» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы», а ее автор – Рязанов Даниил Александрович заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил официальный оппонент

Нуриев Артем Наилевич

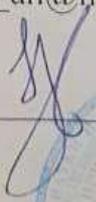
к.ф.-м.н., доцент кафедры аэромеханики института математики и механики, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанского (Приволжского) федерального университета".

420008, Россия, РТ, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.

Телефон: , E-mail: +79033407647, nuriev_an@mail.ru

дата 29.10.21

подпись



А.Н. Нуриев

