

Отзыв научного руководителя

на диссертационную работу Рязанова Даниила Александровича «Бигармонические аттракторы внутренних волн», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «Механика, жидкости газа и плазмы»

Рязанов Даниила Александрович окончил обучение на механико-математическом факультете МГУ, кафедре волновой и газовой динамики в 2016 году. После чего поступил в аспирантуру под моим руководством, и в 2020 году успешно окончил обучение.

В диссертационной работе Д.А. Рязанова изложены результаты исследования поведения несжимаемой стратифицированной жидкости в замкнутом трапециевидном резервуаре при периодических воздействиях. Рассматриваются внутренние волны, их фокусировка и образование аттракторов внутренних волн. Процессы, протекающие в резервуаре, описываются при помощи приближения Буссинеска. Моделирование динамики стратифицированной жидкости проведено тремя различными численными подходами и методом трассировки волновых лучей. Для численного моделирования задач используется как классический, так и регуляризованный вид уравнений гидродинамики.

Рассмотрены различные режимы фокусировки внутренних волн при бигармоническом воздействии на стратифицированную жидкость. Актуальность представленного исследования обусловлена наличием предпосылок для образования волновых аттракторов в океанах. Аттракторы внутренних волн в океанах влияют на вертикальное перемешивание, седиментацию примесей, миграцию живых организмов и энергетический баланс в океане.

Диссертация изложена на 110 стр. и состоит из введения трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность работы, ее новизна и цели, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы и общая теория, описывающая динамику стратифицированной жидкости. Также вводится понятие волнового аттрактора.

Вторая глава посвящена методам исследования аттракторов внутренних волн при помощи геометрической модели трассировки лучей и при помощи как численных, так и натурных экспериментов. Изложены основы квазигидродинамического подхода и на примере задачи моделирования аттрактора внутренних волн показано, что этот подход дает результаты, качественно и количественно соответствующие результатам, полученным при помощи метода спектральных элементов высокого порядка. Этот подход был реализован в виде программного комплекса, который прошел валидацию и верификацию.

В третьей главе изложены результаты численного исследования бигармонических аттракторов внутренних волн. Проведен анализ зависимости формы аттрактора от частот колебаний волнопродуктора. Получены результаты исследования при помощи метода трассировки лучей и при помощи численного моделирования для трех различных комбинаций частот волнопродуктора. Проведен спектральный анализ компонент поля скорости в резервуаре, построены частотно-временные диаграммы. Исследована динамика средней кинетической энергии в резервуаре и амплитуда скоростных колебаний на лучах аттрактора.

Вкупе с разработанным программным комплексом (гл. 2), который позволяет

моделировать волновые аттракторы в сложных геометриях с высокой точностью, исследование бигармонических волновых аттракторов (гл. 3) позволяет ближе подойти к пониманию динамики волновых течений в океанах, которые зачастую описываются полуэмпирическими спектрами.

В работе аналитически исследуются интервалы частот (гл. 2), при которых образуются аттракторы внутренних волн. Эти данные согласуются с результатами, полученными предыдущими исследователями аттракторов внутренних волн.

Результаты исследования бигармонических аттракторов (гл. 3) показывают, что в одном резервуаре могут образовываться два и более аттракторов внутренних волн, которые при достаточной разности частот практически не взаимодействуют друг с другом. Сближение частот волнопродуктора влечет за собой геометрическую близость аттракторов внутренних волн и их сложное взаимодействие при увеличении амплитуд, что демонстрируется на частотно-временных диаграммах.

Также интересен результат динамики средней кинетической энергии в резервуаре. Максимум средней кинетической энергии наблюдается, когда фазы колебаний аттрактора совпадают, при этом отстают от совпадения фаз колебаний на волнопродукторе. По мере приближения к максимуму колебания кинетической энергии возрастают, а сразу после прохождения максимума, напротив, резко затухают.

В заключении приведены основные результаты работы.

Полученные результаты Д.А. Рязанов оформил в виде 11 публикаций, 2 из которых относятся к списку ВАК. Программный комплекс, в разработке которого он принимал активное участие зарегистрирован в реестре программ для ЭВМ. Результаты работы были доложены им лично более чем на 10 конференциях и научных семинарах, включая семинары в Институте Механики МГУ, на кафедре гидромеханики МГУ и кафедре газовой и волновой динамики МГУ. Работа была поддержана грантом РФН.

За время обучения в аспирантуре Даниил Александрович Рязанов проявил себя как трудолюбивый и самостоятельный ученый при создании программного комплекса, численных и аналитических исследованиях. Продемонстрировал глубокое понимание физических процессов лежащих в основе рассматриваемых им явлений. Разработанный программный комплекс в данный момент находится в открытом доступе и активно используется другими исследователями, в том числе и зарубежными.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Даниила Александровича Рязанова соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 «Механика жидкости газа и плазмы», а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Научный руководитель,
Кандидат физико-математических наук
Старший преподаватель
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

 И. Н. Сибгатуллин



Верно

Зав. канцелярией ИО РАН



24.06.2001