

ОТЗЫВ

официального оппонента Трифонова Юрия Яковлевича на
диссертационную работу Ермишиной Виктории Евгеньевны
«Математические модели распространения нелинейных внутренних волн в
слоистой стратифицированной жидкости»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и
плазмы»

Актуальность и новизна исследования. Диссертационная работа Ермишиной В.Е. направлена на совершенствование и развитие методов математического моделирования распространения нелинейных внутренних волн в многослойной стратифицированной жидкости. Основное внимание уделено изучению уединенных волн, способных распространяться на значительные расстояния. Выполненные исследования имеют как теоретическую ценность, так и важные практические приложения. Например, расчет волнового воздействия на погруженные объекты.

Для моделирования внутренних волн в стратифицированной жидкости широко применяется приближение мелкой воды для слоистых течений. Например, модель Choi–Camassa (1996, 1999, JFM) описывает волны конечной амплитуды на границе раздела двухслойной жидкости. Плотность жидкости в каждом из слоев предполагается различной, и движение описывается невязкими уравнениями Эйлера. Течение усредняется по глубине каждого слоя и, в зависимости от соотношения толщин слоев, получаются различные уравнения в частных производных. Обобщение этой модели на случай произвольного числа слоев (Choi, 2000, JFM) приводит к значительно более сложным уравнениям движения и требует привлечения мощной вычислительной техники. Упрощение этих уравнений было предложено в работе Gavrilov, Liapidevskii, Gavrilova (2011). Градиент давления по глубине каждого слоя считался равным нулю. Исключение составляли верхний и нижний слои, где учитывались инерционные эффекты. В диссертации эта

модель, с использованием ряда оригинальных преобразований, сводится к системе уравнений первого порядка, для численного решения которой применимы хорошо разработанные схемы. Благодаря удобству численной реализации, более высокой скорости вычислений и понятной постановке граничных условий такой подход все чаще применяется для анализа внутренних волн в стратифицированной жидкости.

Отметим, что, несмотря на увеличение мощности вычислительной техники, и возможностей прямого численного моделирования, построение осредненных одномерных моделей сохраняет свою значимость и актуальность. С помощью таких упрощенных моделей удастся определить диапазон параметров, в которых реализуется тот или иной режим течения и получить наиболее важные гидродинамические характеристики потока.

Таким образом, тематика диссертационной работы является актуальной и востребованной, а проведенные исследования и полученные результаты являются новыми и оригинальными.

Содержание работы. Диссертация изложена на 97 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 82 наименования.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, приведен обзор работ по теме диссертации, формулируются цель и задачи работы. Обосновываются, также, научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенного исследования, описаны методы, используемые при работе над диссертацией. Сформулированы основные научные результаты, полученные в ходе исследования, и обоснована их достоверность. Приведен список научных конференций и семинаров, на которых проходила апробация диссертационной работы. Описаны структура и краткое содержание диссертации.

Первая глава посвящена моделированию распространения внутренних уединенных волн в многослойной стратифицированной жидкости. Получена

система уравнений первого порядка, описывающая движение в слоистой стратифицированной жидкости. Модель получена в длинноволновом приближении с учетом негидростатического распределения давления в нижнем и верхнем слоях и произвольного количества промежуточных гидростатических прослоек. Построены стационарные решения, описывающие внутренние волны первой и второй моды. Проведены нестационарные расчеты распространения внутренних волн второй моды в канале как постоянной, так и переменной толщины. Проведено сравнение с результатами известных наблюдений, лабораторных экспериментов и прямого численного моделирования.

Во **второй главе** построены решения уравнений, описывающих распространение уединенных внутренних волн в двухслойном течении стратифицированной жидкости между двумя параллельными пластинами. Получены условия существования уединенных волн конечной амплитуды, распространяющихся в двухслойном стратифицированном течении в приближении Буссинеска.

В **третьей главе** предложена модель движения двухслойной жидкости со свободной поверхностью над неровным дном, учитывающая эффекты обмена жидкостью между слоями, а также негидростатичность распределения давления в нижнем слое. Получены стационарные решения с осциллирующей внутренней границей и почти невозмущенной свободной поверхностью и класс стационарных решений, описывающих уединенные волны большой амплитуды. Проведены нестационарные расчеты течений, формирующихся вследствие обтекания препятствия переменной высоты. Показано, что в зависимости от скорости набегающего потока, высоты и формы локального препятствия вверх по течению распространяются нелинейные возмущения в виде волнового или монотонного бора.

В **заключении** диссертации сформулированы основные научные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Список литературы достаточно полно охватывает работы по теме

диссертации.

Достоверность полученных результатов обеспечена строгостью используемого математического аппарата и верификацией моделей через сравнение с результатами других авторов. Отметим, что в диссертации уделено большое внимание сопоставлению результатов, получаемых по предложенным моделям, с известными экспериментальными данными и с результатами прямого численного моделирования.

Апробация результатов. Все основные результаты диссертации опубликованы в четырех статьях в изданиях, рецензируемых в базах Web of Science и Scopus. Материалы исследования докладывались на всероссийских и международных конференциях, а также на многочисленных семинарах под руководством авторитетных ученых.

По тексту диссертации и автореферата имеются два следующих замечания:

1. Система уравнений (1.1) записана в размерном виде. При этом в уравнениях присутствует безразмерный параметр ε . Это следует пояснить.
2. Седьмое уравнение системы (2) в автореферате требует пояснения (слагаемое $(u_n + u_n - 1)s_{n-1}/2 + \dots$). По всей видимости, здесь опечатка?

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают научной значимости полученных автором диссертации результатов.

Заключение:

Диссертационная работа Ермишиной В.Е. является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему - математическое моделирование распространения внутренних волн в стратифицированной жидкости. Работа выполнена самостоятельно и содержит ряд новых важных результатов в области механики жидкости. В частности, построена система уравнений первого порядка, описывающая движение в слоистой стратифицированной жидкости, для численного решения которой применяются хорошо разработанные экономные схемы вычислений.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации, которое соответствует специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Ермишиной Виктории Евгеньевны «Математические модели распространения нелинейных внутренних волн в слоистой стратифицированной жидкости» можно сделать обоснованное заключение о том, что диссертация в полной мере отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ермишина Виктория Евгеньевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Трифонов Юрий Яковлевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ермишиной В.Е., и их дальнейшую обработку.

Доктор физико-математических наук, (01.02.05, Механика жидкости, газа и плазмы), главный научный сотрудник лаборатории процессов переноса в многофазных системах

16.10.2024



Трифонов Юрий Яковлевич

Подпись Ю.Я.Трифопова заверяю

Ученый секретарь ИТ СО РАН, к.ф.-м.н.

Макаров Максим Сергеевич



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1. Телефон: (383)-330-60-40, E-mail: trifonov@itp.nsc.ru