

«УТВЕРЖДАЮ»
ВРИО директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук
К.Г. М.Н. В.П. Шевченко
«30» ноября 2023 г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу Хазанова Григория Ефимовича «Исследование затухания гравитационно-капиллярных волн в океане в присутствии поверхностных пленок и фрагментированного льда», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17- океанология.

В диссертационной работе Григория Ефимовича Хазанова представлены результаты аналитических, численных и лабораторных экспериментальных исследований затухания волн на воде в присутствии пленочных и фрагментированных загрязнений поверхности. Работа является развитием многолетних исследований сотрудников Института прикладной физики Российской академии наук, направленных на описание динамики морской поверхности и решение фундаментальных и прикладных задач дистанционного зондирования морской поверхности.

Актуальность темы диссертации определяется растущим значением дистанционных методов исследований и контроля состояния морской среды. Разливы нефти, биогенные пленки, фрагментированный и морской лед существенно изменяют отражательные свойства морской поверхности в широчайшем диапазоне электромагнитных волн оптического и радиодиапазонов. Понимание динамики такой поверхности позволяет существенно повысить точность и оперативность определения характеристик, качество прогноза распространения загрязнений, льда и т.п.. Наиболее перспективным и интенсивно используемым в настоящее время является диапазон гравитационно-капиллярных волн, определяющий рассеяние радиоволн сантиметрового и дециметрового диапазонов. Эти диапазоны, в частности используются в спутниковой альтиметрии и скаттерометрии, высокоразрешающем мониторинге с помощью радаров синтезированной апертуры (РСА). Таким образом, тема диссертации безусловно актуальна, а ее результаты имеют хорошие перспективы развития и практического использования.

Научная новизна определяется, прежде всего, использованием различных исследовательских подходов, дополняющих друг друга: аналитического и численного исследования и лабораторного эксперимента. Выполненный теоретический анализ позволил оценить характеристики затухания для пленок конечной толщины фрагментированного льда. Был обнаружен и детально исследован новый физический эффект немонотонности зависимости коэффициента затухания от толщины пленки или характерного размера льдин, имеющий резонансную природу. Численное и лабораторное моделирование позволили исследовать этот эффект в диапазоне параметров, близких к морским.

Выполненные соискателем исследования, безусловно, имеют существенную научную и практическую значимость. Построенная приближенная модель динамики пленок конечной толщины на поверхности воды проводить оценки затухания волн и характеристик электромагнитного рассеяния в широком диапазоне характеристик морской поверхности и пленок различного происхождения. Эти оценки в перспективе могут быть использованы для разработки методов дистанционного различения пленок различной толщины в нефтяных разливах. Полученные в ходе экспериментального и численного моделирования зависимости затухания гравитационных волн от отношения длины волны к размеру плавающего тела могут помочь при интерпретации спутниковых изображений морской поверхности, покрытой битым льдом.

Достоверность результатов подтверждается публикациями в авторитетных профессиональных изданиях, выступлениями автора на научных конференциях. В тексте результатов даны необходимые сведения, позволяющие убедиться в корректности предлагаемых подходов и полученных результатов.

Личный вклад автора адекватно представлен в тексте диссертации и реферата, где отражено участие соавторов и даны корректные ссылки на предыдущие исследования

Структура и объем диссертации следует общепринятым стандартам: введение, четыре главы, заключение, список литературы. Работа иллюстрирована высококачественными фотографиями и графиками. Список литературы включает 107 источников. Вызывает сожаление цитирование изданий на русском языке по их переводам на английский.

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, формулируются её цели и задачи, кратко излагается содержание диссертации. К сожалению, отсутствует общий обзор состояния исследований и выполненной автором работы. Эта проблема решается во вводных разделах глав диссертации.

Первая глава посвящена теоретическому анализу задачи о затухании волн на поверхности идеальной жидкости, покрытой вязко-упругой пленкой конечной толщины. Представлен подробный обзор предыдущих работ, дана математическая постановка задачи. В предлагаемой приближенной задаче движение в нижнем слое (вода) полагается потенциальным, в верхнем слое (пленка) рассматриваются вихревые моды. Получены дисперсионные соотношения, отвечающие затухающим вихревым и слабо-вихревым движениям (затухание почти потенциальных волн в пределе бесконечно малой вязкости) и общее соотношение, описывающее взаимодействие двух видов колебаний поверхности. Показано, что затухание, определяемое в основном вихревой компонентой гравитационно-капиллярных волн (ГКВ), может иметь немонотонный характер в зависимости от волнового числа. Приведены сравнения с численными результатами других авторов.

Во **второй главе** представлены результаты лабораторного моделирования затухания ГКВ на воде с неоднородными по толщине пленками на основе полученных в первой главе теоретических оценок. Показано, что зависимости коэффициента затухания ГКВ от толщины пленки немонотонны и характеризуются возникновением сильного локального максимума при значениях толщины, примерно равной толщине вязкого пограничного слоя. Описана экспериментальная методика и особенности растекания нефтяной пленки по поверхности кюветы. Показано, что при нанесении на уже имеющуюся пленку определенного количества чистого поверхностно-активных веществ (ПАВ), эти вещества не растекаются равномерно по всей поверхности, а формируют устойчивые островки конечной толщины, т.н. линзовую фазу. Затухание ГКВ в линзовой фазе оказывается существенно выше, чем для пленок постоянной толщины при той же средней концентрации за счет действия объемной вязкости в островках и дополнительной диссипации на границах линз.

В **третьей главе** представлено физическое моделирование затухания ГКВ на поверхности воды в присутствии фрагментированного льда. Проведены лабораторные эксперименты, в которых в качестве имитаторов льда использовалась пропитанная водой поролоновая губка. Как и в случае с пленками конечной толщины, в такой системе возможно резонансное увеличение вязкости при размерах плавающих фрагментов, близких к половине длины волны ГКВ. Результаты лабораторных экспериментов дополнены анализом наблюдений на Горьковском водохранилище. Показано, что в модельных лабораторных и натуральных экспериментах коэффициент затухания характеризуется наличием локального максимума для волн с длинами порядка размеров льдин.

Четвертая глава посвящена численному моделированию затухания ГКВ на поверхности воды в присутствии фрагментированного льда в среде «OpenFOAM». Пакет «OpenFOAM» в настоящее время является своеобразным стандартом исследовательских и прикладных расчетов динамики многофазной жидкости. В данной работе рассмотрена задача взаимодействия волны и льдины. Проведенные расчеты показали правильность основных выводов, сделанных при исследовании приближенных моделей глав 1 и 3. Подчеркнута резонансная природа максимумов затухания, наглядно продемонстрированная в приближенных моделях.

В **Заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации. Основные научные результаты, изложенные в диссертации, с достаточной степенью полноты опубликованы в 12 печатных работах, из которых 2 в реферируемых журналах из текущего списка ВАК.

Работа включает в себя аналитическое, лабораторное (включая натурные эксперименты) и численное исследования, посвященные актуальной проблеме дистанционной диагностики динамики морской поверхности в диапазоне гравитационно-капиллярных волн с учетом влияния плавающих объектов. Явный акцент сделан на теории динамики ГКВ в присутствии пленок. Подчеркивается подобие физических механизмов, отвечающих за особенности затухания волн при наличии пленок и других объектов на водной поверхности. Работа выполнена на хорошем уровне, хорошо структурирована, изложение следует единой логике. Принципиальных замечаний нет.

Из непринципиальных замечаний хотелось бы выделить: 1) при теоретическом анализе (гл. 1) хорошим тоном является выделение безразмерных параметров и работа в безразмерных величинах; 2) присутствует недостаточная проработанность стыковки параметров исследования с типичными наблюдаемыми параметрами в океане и радиолокации (конкретная толщина вязкого подслоя, величина толщины «толстой» пленки согласно автору, насколько часто в океане встречаются пленки толщиной около и более 1 мм), в идеале хотелось бы видеть соответствующую таблицу; 3) с точки зрения радиолокации в микроволновом диапазоне (гл. 3) темные области с пониженным коэффициентом рассеяния формируются ледяным салом и ниласом, а более крупные формы льда (фрагментированный лед, например) дают, наоборот, более яркие области рассеяния, чем чистая морская поверхность (см. например работы Isleifson, 2010).

Диссертационная работа Хазанова Григория Ефимовича «Исследование затухания гравитационно-капиллярных волн в океане в присутствии поверхностных пленок и фрагментированного льда» является самостоятельной работой, полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., в действующей редакции, а автор достоин присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 — океанология.

Отзыв подготовили

Д.ф.м.н., гл.н.с, рук. Лаборатории
нелинейных волновых процессов
ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36
+7(499) 124-75-65; e-mail: badulin.si@ocean.ru;
<http://www.ocean.ru>

Бадулин Сергей Ильич

к.ф.м.н., вед.н.с, Лаборатории
нелинейных волновых процессов
ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36
+7(499) 124-75-65; e-mail: toulon@bk.ru;
<http://www.ocean.ru>

Ивонин Дмитрий Валерьевич

30 ноября 2023г. Москва

