

## ОТЗЫВ

на диссертацию Слюняева Алексея Викторовича “Аномально высокие морские волны: физические механизмы и моделирование”, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Слюняева А. В. посвящена моделированию возникновения в океане интенсивных поверхностных волн аномально большой высоты (волны-убийцы). Подобные волны являются в ряде случаев причиной как значительного повреждения судов, приводящего к экологическому загрязнению обширных прибрежных акваторий и гибели людей, так и существенного повреждения или затопления шельфовых нефтегазовых платформ. Все это приводит к очевидной необходимости исследования физических механизмов для создания адекватных математических моделей возникновения «волн-убийц» с целью принятия мер по снижению риска воздействия «волн-убийц» на суда и платформы. Такая необходимость обеспечивает **актуальность работы**. Среди физических механизмов генерации «волн-убийц» наибольший интерес вызывают нелинейные механизмы, в частности, эффект нелинейной самомодуляции волн на глубокой воде, который был предложен для объяснения более частого возникновения высоких ветровых волн, чем это предсказывается общепринятыми квазилинейными теориями.

**Целью диссертационной работы** является исследование физики аномально высоких морских волн (волны-убийцы) – экстремальных волн, которые возникают заметно чаще и приобретают большие высоты, чем это предсказывается квазилинейными теориями, – в контексте возможности описания и прогноза.

Основная **научная ценность и новизна** результатов заключается в построении новых обобщенных физико-математических моделей, связывающих слабонелинейные теории и сильно нелинейную динамику волн, а именно:

- предложены и описаны новые эффекты возникновения аномально высоких волн на морской поверхности («волн-убийц»);
- предложены новые физико-математические модели для описания модулированных гравитационных волн на поверхности воды;
- выполнено численное моделирование приближенных и исходных уравнений гидродинамики;
- для описания «волн-убийц» на струйных течениях предложен и развит новый модовый подход, позволивший перенести результаты нелинейной теории для двумерных модулированных волн на трехмерный случай.

Исследование базируется на современных теоретических методах исследований динамики нелинейных волн, динамики океана, современных численных методах. Большинство теоретических результатов, приводимых в диссертации, проверялись в численных и лабораторных экспериментах. При этом использовались различные численные коды, моделирующие уравнения гидродинамики на различных уровнях аппроксимации: от слабо нелинейных до полных по нелинейности. Такой подход позволил осуществлять перекрестное сопоставление результатов, обеспечивающее **достоверность предложенных методов и решений**.

**Практическое значение** работы заключается в следующем. Результаты диссертации могут быть использованы для дальнейших исследований, в том числе, – в направлении

прикладных разработок по прогнозу экстремальных морских волн и снижению их негативных последствий. Они использовались в НИР по тематикам нелинейных волн и экстремальных морских волн, включая выполнение государственных контрактов, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и поддержки ведущих научных школ РФ, грантов Европейского Сообщества, грантов РФФИ. В частности, результаты проекта «Разработки для обеспечения безопасности судов в экстремальных морях» (“Design for Ship Safety in Extreme Seas”, 2009-2013), в котором диссертант принимал активное участие, были отмечены грамотой Европейского Союза "Чемпионы ЕС в области исследований для развития транспорта - 2014".

### **Структура работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений.

**Во введении** сформулирована суть и актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная ценность и новизна результатов, обоснованы достоверность предложенных методов и решений и практическое значение работы, описан личный вклад автора, апробация работы, представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** формулируются доступные на настоящий момент знания об экстремальных ветровых волнах на морской поверхности, следующие из наблюдений и инструментальных измерений, дается их критический обзор и указывается на важность натуральных данных для адекватной формулировки проблемы «аномальных морских волн» и верификации результатов исследований.

**Во второй главе** приводится теоретическое описание нелинейной эволюции модулированных волн в рамках уравнений огибающей разного порядка по малой нелинейности и дисперсии, а также демонстрируется возможность моделирования сложных случаев на основе инструментальных измерений аномальных морских волн в точке.

**В третьей главе** моделируются динамика и процессы генерации экстремальных коллинеарных волн на поверхности глубокой воды в рамках исходных уравнений гидродинамики (потенциальных уравнений Эйлера), включая представление в конформных переменных, а также в лабораторных условиях.

**Четвертая глава** посвящена моделированию динамики ансамблей квазислучайных волн, позволяющему получить статистическое описание волн без использования каких-либо предположений в виде гипотез замыкания.

**В пятой главе** строится асимптотическая модовая теория для трехмерных нелинейных волн, распространяющихся навстречу струйному течению. Для простоты глубина предполагается бесконечно большой, а течение – вертикально однородным.

**В заключении** приведены основные результаты диссертации.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Автореферат диссертации правильно отражает содержание диссертации и дает достаточно полное представление об использованных методах, актуальности, новизне и значимости работы, личном вкладе автора.

**В качестве замечаний можно отметить следующие:**

1. Автор сопоставляет решения точных и эволюционных уравнений только на основе сравнения профилей свободной поверхности. При этом не рассматривает характер движения внутри жидкости, в частности, есть ли там дрейфовое течение. Конечно, максимальная амплитуда в данном случае - наиважнейшая характеристика, но ее формирование связано, в том числе, и с движением в глубине. В частности, каково влияние нелокального члена в уравнении Диста на свойства волн-убийц? Это характерное отличие его от НУШ, и с этой стороны хотелось бы ясной демонстрации его влияния. Когда можно его не учитывать?

2. В разделе 4.2 автор сопоставляет эволюцию нормированной ширины спектра случайных волн для лабораторных и численных экспериментов. Численные расчеты производятся для моделей НУШ и Диста (см. рис. 4.2.5). На дистанциях, не превышающих длину лабораторного лотка, наблюдается качественно схожее поведение кривых зависимости спектральной ширины на всей длине бассейна  $l$ . Вместе с тем, автор приводит численные кривые и для больших расстояний, и на основании их делает заключение о “немонотонной динамике спектральной ширины” (стр. 174). Этот результат, на мой взгляд, является довольно интересным как в теоретическом плане, так и в плане стимулирования будущих лабораторных экспериментов в бассейне большей протяженности, однако автор не обсуждает эти аспекты.

Больше того, рис. 4.2.5 демонстрирует, что изменения спектральной ширины на расстояниях  $x > l$  по моделям НУШ и Диста происходят почти что в противофазе. На наш взгляд, это свидетельствует о том, что модели эволюционных уравнений для данного типа задач не так эффективны, как для расчета динамики одиночных бризеров. Автор, однако, не отмечает этого, и на стр. 178 ограничивается констатацией факта о качественном совпадении поведения всех кривых на длинах  $x \leq l$ .

3. Название диссертации носит достаточно общий характер, но автор ограничился рассмотрением потенциальной модели волн. Хотелось бы при таком названии видеть более полный обзор для волн в завихренной жидкости.

4. Автор анализирует динамику поверхностных волн в океане в пренебрежении вертикальной стратификации жидкости, приводящей к возникновению внутренних волн. Однако, учет взаимодействия интенсивных поверхностных волн с внутренними волнами в ряде случаев, например, при групповом синхронизме, отвечающем равенству групповой скорости цуга поверхностных волн с фазовой скоростью внутренней волны, может приводить к значительному изменению динамики поверхностных волн. Данное замечание можно рассматривать как пожелание автору на будущее.

5. Диссертация, на мой взгляд, несколько перегружена примерами вычислений, которые можно было бы избежать, сославшись на публикации. Вследствие этого работа читается тяжело. Так, раздел 1.3, посвященный инструментальным измерениям, вполне можно было бы исключить, а раздел 2.5, составляющий 20 (!) страниц текста, можно было бы значительно сократить.

7. В качестве курьеза укажем, что общеизвестное векторное равенство (5.3.10) дается со ссылкой на “Гидродинамику” Ландау и Лившица, что подразумевает их авторство.

Несмотря на указанные замечания, считаю, что диссертация Слюняева Алексея Викторовича “Аномально высокие морские волны: физические механизмы и моделирование”, представленная на соискание ученой степени доктора физико-

математических наук, выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Слюняев Алексей Викторович несомненно заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Доктор физико-математических наук, профессор,  
зав. кафедрой математики  
Национального исследовательского университета  
«Высшая школа экономики»

Евгений Михайлович Громов  
25 января 2016г.

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»,  
603155, Нижний Новгород,  
ул. Б. Печерская, 25/12;  
адрес сайта: <http://nnov.hse.ru>;  
тел.: (831) 416-95-40 (сл.);  
E-mail: [egromov@hse.ru](mailto:egromov@hse.ru)

*Е. М. Ермолова*  
НАЧАЛЬНИКОМ  
ОТДЕЛА КАДРОВ  
Н. А. ЕРМОЛОВОЙ