

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

**А.И. Григорьев, А.В. Климов,
С.В. Черникова, А.В. Присяжнюк**

**Параметрические
и нелинейные волны
на заряженной
поверхности жидкости**

Ярославль 2007

УДК 532.595
ББК В 253.31
Г 83

*Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве научного издания. План 2007 года*

Рецензенты:

кафедра прикладной математики и вычислительной техники
Ярославского государственного технического университета;
д-р. физ.-мат. наук В.А. Коромыслов

Г 83 **Григорьев, А.И.** Параметрические и нелинейные волны на заряженной поверхности жидкости / А.И. Григорьев, А.В. Климов, С.В. Черникова, А.В. Присяжнюк ; Яросл. гос. ун-т. им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2007. – 170 с.
ISBN 978-5-8397-0572-2

В монографии в рамках аналитического асимптотического моделирования рассмотрены нелинейные капиллярно-гравитационные волны на свободной поверхности идеальной и вязкой несжимаемой жидкости в плоской и цилиндрической геометриях.

Монография издана при финансовой поддержке грантов РФФИ № 03-01-00760 и № 06-01-00066-а.

УДК 532.51
ББК В 253.322я73

© Ярославский
государственный
университет, 2007
© А.И. Григорьев,
А.В. Климов,
С.В. Черникова,
А.В. Присяжнюк, 2007

ISBN 978-5-8397-0572-2

Введение

В настоящей книге авторы хотят привлечь внимание читателя к коротковолновому диапазону капиллярно-гравитационных волн на заряженной поверхности жидкости, или, иными словами, к капиллярным волнам на заряженной поверхности жидкости. Результаты проводимых ниже расчетов применимы в весьма широком спектре академических, технических и технологических приложений, связанных с электродиспергированием электропроводной и диэлектрической жидкости [1 – 9], с теорией грозового электричества [10 – 11] и, в частности, с теорией огней св. Эльма (ОСЭ) [12 – 17], жидкометаллическими источниками ионов [4 – 5], а также с микро- и наноэлектроникой [18 – 19]. Для конкретизации нижеследующих рассуждений выберем конкретное приложение, в качестве которого возьмем огни св. Эльма, и будем проводить исследование параметрически возбуждаемых и нелинейных капиллярных волн, имея в виду возможный выход полученных результатов в трактовке физического механизма возникновения этого природного феномена. Как будет показано ниже, традиционные представления, связывающие огни св. Эльма с видимой частью мощного коронного (кистевого) разряда, верны лишь отчасти. Но ознакомимся с фактами:

1. Июнь 1956 года. Район Южных Курильских островов.

Наблюдатель капитан 3-го ранга Хомяков А.В.

"В полночь я заступил вахтенным командиром на мостике корабля. По местным стандартам погода была хорошая: ветер 2 – 3 балла, облачность низкая, кучевая, видимость хорошая. Около часу ночи на мостике как-то посветлело, хотя ночь была безлунная. Стало так светло, что можно было различать отдельные предметы на палубе. И вдруг на металлических частях вант, на оттяжках стоячего такелажа, крепящего мачты, на тросах леерного ограждения и штыревых радиоантеннах появилось свечение. Началось оно с верхних частей и быстро спустилось по всему такелажу вниз. Через 2 – 3 минуты контуры антенн и такелажа засветились безжизненным белым светом, похожим на

свет неоновых реклам. На мостике стало так светло, что можно было читать. Я запросил механика и радиста о состоянии механизмов и радиоаппаратуры. Механик доложил, что все механизмы работают нормально, электросистемы в порядке. Из радиорубки сообщили, что из-за сильных помех не удастся установить связь с берегом. Через полчаса свечение стало ослабевать и погасло. Однако радиопомехи продолжались еще несколько часов. Ни грозы, ни дождя не было, ни в тот день, ни на следующий".

2. Июнь 1958 года, ледник Центрально Туюксу́йский в Заилийском Алатау. Наблюдатели Денисова Т.Я., Егорова Н.Д., Конева Н.П.

"Мы, сотрудники Института географии АН КазССР, проводили метеорологические измерения на высоте 3500 – 4000 метров по программе МГГ. 23 июня погода испортилась: сильный ветер нес снежную крупу, сверкали молнии. В ночь на 16 июня, выйдя из домика для очередных измерений, мы увидели, что на всех выступающих предметах: метеоприборах, антеннах, сосульках, на крыше домов – появились желтовато-голубоватые языки холодного пламени. Это пламя появлялось и возле пальцев поднятых рук. На осадкомерах они достигали 10 сантиметров в длину. Одна из нас решила дотронуться карандашом до пламени на крючке градиентной штанги. Но в то же время произошел разряд – наверно, в штангу ударила молния. Нас ослепило и сбilo с ног. Когда мы поднялись, пламя исчезло. Но через четверть часа вновь появилось на прежних местах".

3. Июнь 1975 года. Северный берег Каспийского моря, Глагольская коса. Наблюдатель кандидат географических наук Герштанский Н.Д.

"Мы, сотрудники Астраханской гидрометеорологической обсерватории, поздно вечером возвращались с работы к урезу моря. Уже в почти полной темноте выбрались из зарослей тростника и пошли по мелководью к моторной лодке, оставленной в двух километрах от берега. Небо было покрыто грозowymi облаками. Где-то далеко на севере вспыхивали зарницы. Неожиданно волосы у всех нас засветились ярким фосфоресцирующим светом, образуя светящиеся ореолы вокруг голов. Сила свечения то возрастала, то снижалась. Язычки холодного пламени появлялись и возле пальцев

поднятых рук. Тогда мы подняли мерный шест, и его вершина за-светилась так ярко, что можно было прочесть бирку завода изготовителя. Все это длилось минут десять. Интересно, что ниже метра над поверхностью моря свечение не возникало".

4. Приморский край. Наблюдатель Алексеев В.Н.

"В июле 1960 года я вторым помощником капитана участвовал в перегоне теплохода "Двина" из порта Проведение в порт Находка. Мы проходили Беренгово море и находились между мысом Олюторским и Командорскими островами, когда я стал свидетелем странного и таинственного явления природы. Когда в два часа ночи я заступил на вахту, небо было покрыто черно-фиолетовыми облаками. Мы шли на буксире у парохода "Е. Пугачев". Длина буксира около 300 метров. Минут через 30 после начала вахты я вдруг увидел, что контуры мачт, вант и надстройки стали как-то необычно четко видны. Да и "Е. Пугачев" стал виден отчетливо. Еще через несколько минут на всех выступающих частях судна появилось свечение. А на клотиках мачт возникли как бы светящиеся кисточки. Вскоре вся поверхность судна по ребрам надстройки, фальшборту, вантам и острые углы всех предметов покрылись светящейся голубоватой бахромой. Особых звуков и запахов я не заметил. "Е.Пугачев" наблюдался как сплошное светящееся пятно. Все это длилось часа два с половиной".

5. 1978 год, г. Астрахань. Наблюдатель Василенко И.Г.

"Мы с отцом рыбачили на Каспии, когда нас застала гроза. В самый разгар грозы на верхушке мачты нашей лодки появился яркий огонек размером с крупное яйцо. Не зная, что это такое, отец попытался столкнуть этот огонек с мачты багром. Но как только он поднял багор, на его конце появился такой же огонь. Огонь горел на верхушке мачты пока гроза не кончилась. Но когда мы вернулись домой, оказалось, что мачта не обуглилась и даже не почернела".

В этих описаниях обращает на себя внимание факт, что огни св. Эльма появляются не возле заостренных электропроводных предметов: штыков и колючек и т.п., но возле поверхностей с большими радиусами кривизны. Коронный разряд в окрестности таких тел в лабораторных условиях создать весьма сложно, а то и невозможно.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Параметрические волны.....	9
1.1 <i>Физико-математическая модель огней св. Эльма</i>	<i>9</i>
1.2. <i>Действие электростатических неустойчивостей Тонкса – Френкеля и Кельвина – Гельмгольца на заряженную границу двух сред</i>	<i>15</i>
1.3. <i>Дестабилизация заряженной границы раздела двух сред, подверженной действию неустойчивостей Тонкса – Френкеля и Кельвина – Гельмгольца при наличии переменной во времени компоненты поля скоростей верхней среды.....</i>	<i>43</i>
1.4. <i>Параметрические волны на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей различных плотностей, когда ее коэффициент поверхностного натяжения является функцией времени.....</i>	<i>51</i>
Глава 2. Нелинейные волны в слое жидкости конечной глубины	59
2.1. <i>Нелинейные волны в слое вязкой жидкости конечной глубины</i>	<i>59</i>
2.2. <i>Оценка асимптотической пригодности выражений для поля скоростей жидкости в математической модели волн на плоской свободной поверхности вязкой жидкости</i>	<i>110</i>
2.3. <i>О возможности зажигания коронного разряда у гребней волн</i>	<i>119</i>

Глава 3. Линейное взаимодействие волн132

3.1. Линейное взаимодействие волн на заряженной границе раздела сред при наличии тангенциального разрыва поля скоростей 132

3.2. Взаимодействие с дном волн в слое вязкой жидкости конечной толщины 148

Литература..... 161