

УТВЕРЖДАЮ

И.О. проректора по научной  
работе Санкт-Петербургского  
государственного университета

С. В. Микушев

2018 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Диссертация «Поля нестационарных нелинейных вязких волн, возбужденных источниками конечных размеров» выполнена на кафедре радиофизики физического факультета СПбГУ.

Соискатель Павловский Артём Сергеевич окончил магистратуру СПбГУ по направлению «Физика» в 2013 г., после чего в течении года работал в СПбГУ в качестве инженера-исследователя.

В 2018 г. он окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по направлению 03.06.01 «физика и астрономия». Ему присвоена квалификация исследователь, преподаватель-исследователь. Диплом АС №00353.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (справка об обучении или периоде обучения №04-А-335 от 25.10.2018) выдано в 2018г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Научный руководитель – Павлов Валерий Андреевич д.ф.м.н., профессор кафедры радиофизики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. **Актуальность.** Диссертационная работа Павловского Артёма Сергеевича посвящена исследованию полей нестационарных нелинейных вязких волн,

которые возбуждают источники конечных размеров – осциллирующие тела различных размеров и форм.

Вязкие волны в жидкости возникают всегда, когда существует ненулевая относительная тангенциальная к колеблющейся поверхности тела компонента скорости жидкости. Они распространяются в свободном пространстве и в тонких, по сравнению с длиной звуковой волны, зазорах, например, при работе акустических преобразователей – диполей и излучателей более высокого порядка. В поле таких излучателей вязкие волны являются причиной образования течений в жидкости. Они способствуют улучшению смачивания твердой поверхности на границах 3-х фаз и интенсификации тепло-массообменных процессов, протекающих на твердой границе. Они способствуют выравниванию температурных градиентов в жидкостях.

Вязкие волны могут быть использованы, например, для управления процессами перемешивания расплавов металлов, процессами металлизации материалов, склеивания материалов и другими похожими процессами, происходящими на поверхностях раздела сред.

На практике вязкие волны вносят существенный вклад в затухание звуковых волн, распространяющихся вдоль твердых границ; вносят существенный вклад в затухание звуковых волн жидкостях с включениями в виде твердых частиц или пузырьков.

Вязкие волны относительно медленные и короткие. Это позволяет успешно их использовать в различных процессах, характерные пространственные размеры которых лежат в микрометровом и нанометровом диапазоне.

В последние несколько лет отмечается рост научного интереса к решению нестационарных задач распространения волн и динамики жидкостей, что выражается в увеличении числа публикаций на эту тему. В диссертационной работе аналитически и численно решена задача о включении источника вязких волн из состояния покоя.

Актуальным представляется исследование решений нелинейных уравнений. В диссертационной работе решение нелинейного уравнения движения осуществлено численно методом конечных элементов, реализованным в Comsol Multiphysics версий 5.3 и более ранних. Исследование результатов численных решений программно автоматизировано в Matlab с учетом разработанной соискателем методики

определения направления и вычисления скорости распространения нелинейных вязких волн.

В диссертационной работе исследованы процессы распространения вязких волн при выполнении граничного условия частичного проскальзывания. Исследованию задач с этим граничным условием в последние несколько лет посвящаются все больше работ.

Тема диссертационной работы является актуальной. Явления, исследованию которых посвящена работа, представляют научный интерес. Результаты работы могут быть использованы в практических приложениях. Методы и оборудование соответствуют современному мировому уровню.

**2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.** Соискатель внес основной вклад в представленное в диссертационной работе исследование. Поставил и численно решил задачи о распространении нестационарных нелинейных вязких волн с граничными условиями прилипания и частичного проскальзывания. Аналитически решил линейные задачи о включении источника вязких волн из состояния покоя и о поле плоских вязких волн при постановке граничного условия частичного проскальзывания. Разработал методики анализа результатов численного решения. Активно участвовал в обсуждении и интерпретации полученных результатов и последующей подготовке публикаций. Все результаты численного моделирования были получены и обработаны лично соискателем, либо при его непосредственном участии. Содержание диссертации и научные положения, выносимые на защиту, отражают личный вклад автора в работу.

**3. Достоверность результатов проведенных исследований** подтверждается совпадением с заявленной точностью результатов численного решения тестовых задач с известными результатами, полученными по аналитическим формулам.

#### **4. Научная новизна работы**

Впервые численно исследован процесс распространения нелинейной вязкой волны, генерируемой нестационарным источником конечного размера.

Впервые получены значения величины давления в несжимаемой вязкой жидкости, возникающего при колебании в ней тела конечного размера, в зависимости от времени, размеров источника и аналога числа Маха.

Впервые получены траектории и абсолютная величина скорости распространения двумерной нелинейной вязкой волны от источника конечного размера.

### **5. Практическая значимость работы**

Результаты работы использованы при создании технологии сборки составных пьезоэлектрических акустических преобразователей [Б1].

Результаты работы использованы при склеивании и металлизации поверхностей [А1, В1, В2] и при пропитке волокнистых материалов [В1].

### **6. Апробация работы**

Основные результаты настоящей работы докладывались на 4-х научных конференциях в 6-ти докладах:

- Сессия Научного совета РАН по акустике и XXV сессия Российского акустического общества", 17-20 сентября 2012. Таганрог. (1 доклад);
- Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXVIII сессией Российского акустического общества. 6-10 октября 2014. Москва. (2 доклада);
- II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества. 6-9 июня 2017. Нижний Новгород. (2 доклада);
- 13 Всероссийская конференция «Прикладные технологии в гидроакустике и гидрофизике». ГА-2016. 24-26 мая 2016. Санкт-Петербург. (1 доклад).

### **8. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

По теме исследования опубликованы 7 статей в журналах [А1-А7], рекомендованных ВАК РФ. Три из числа опубликованных статей [А5-А7] переведены на английский язык. Переводы опубликованы в журналах Technical Physics и Technical Physics Letters и индексируются международными базами Scopus и Web of Science. Статья [А1] имеет прикладное значение. В статьях [А2-А5] произведены исследования полей вязких волн преимущественно от плоских источников. Статьи [А6, А7] полностью посвящены вопросам колебаний цилиндров в вязкой несжимаемой жидкости и полям вязких волн от их границ. Кроме

перечисленного, опубликован патент на способ изготовления составного пьезоэлектрического преобразователя [Б1], в котором описан технологический процесс, происходящий в поле вязких волн. Получена награда Американского Акустического общества ASA International Student Grant to assist the research of promising graduate students in acoustics 31.10.2014.

**Список публикаций автора по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

- А1. Павловский А.С. Роль вязких волн в технологических процессах по схеме тонкого слоя (на примере ультразвуковой металлизации материалов) [текст] / Павловский А. С., Пугачев С. И., Семенова Н. Г. // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2014. — 5. — С. 145338(1–7).**
- А2. Павловский А.С. Нелинейные эффекты в поле вязких волн [текст] / Павловский А.С., Семёнова Н.Г. // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2017. — 5. — С. 1750911(1–6).**
- А3. Павловский А.С. Неоднородные вязкие волны, генерируемые пластинами конечных размеров [текст] / Павловский А.С., Юдина С. А., Семёнова Н. Г. // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2017. — 5. — С. 1751309(1–5).**
- А4. Павловский А.С. Свойства вязких плоских и цилиндрических одномерных волн в свободном пространстве и в зазорах [текст] / Павловский А.С., Семёнова Н.Г. // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2014. — 5. — С. 145307(1–6).**
- А5. Павловский А.С. Исследование свойств одномерных плоских и цилиндрических вязких волн в задачах с различными граничными условиями [текст] / Павловский А.С., Семёнова Н.Г. // ЖТФ. — 2015.— Т. 85, 3. — С. 28–33.**  
*Перевод: Technical Physics.— 2015. — Vol. 60, no. 3. — Pp. 344–349.*
- А6. Павлов В.А. Поле двумерных вязких волн от поверхности осциллирующего цилиндра [текст] / Павлов В.А., Павловский А.С., Семёнова Н.Г. // ЖТФ. — 2016. — Т. 86, 7. — Сс. 31–37.**  
*Перевод: Technical Physics. — 2016. — Vol. 61, no. 7. — P. 987.*
- А7. Павловский А.С. Акустогидродинамические явления вблизи малого акустического диполя, работающего в вязкой несжимаемой жидкости в широком диапазоне чисел Рейнольдса [текст] /**

Павловский А.С., Семёнова Н.Г. // Письма в ЖТФ. — 2014. — Т. 40, 8. — С. 14–22.

*Перевод:* Technical Physics letter. — 2014. — Vol. 40, no. 4. — Pp. 326–329.

## **Патент**

**В1. Способ изготовления составного электроакустического преобразователя [текст]** — пат. : 2554591: Рос. Федерация: МПК Н 04 R 31/00 Малышкина О.В., Станкевич Ю.В., Легуша Ф.Ф., Павловский А.С. [и др.]; Заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли РФ.

## **Публикации автора в иных изданиях**

**В1. Легуша Ф.Ф. Акустическая пропитка древесины [текст]** // Легуша Ф.Ф., Павловский А.С., Пугачев С.И., Рытов Е.Ю., Семенова Н.Г. // Морские интеллектуальные технологии / № 4(38) Т. 3. 2017. С. 55 – 64.

**В2. Пугачев С. И. Новые представления о физическом механизме ультразвуковой металлизации по схеме тонкого слоя [текст]** / Пугачев С. И., Рытов Е. Ю., Семенова Н. Г., Павловский А. С. // Морские интеллектуальные технологии. — 2014. — Т. 2, 2(24). — С. 79–86.

## **9. Оценка выполненной соискателем работы.**

По результатам доклада Павловского А.С. на заседании кафедры радиофизики было задано 11 вопросов, на которые были даны обстоятельные и исчерпывающие ответы. В обсуждении работы приняли участие: зав. кафедрой, д.ф.-м.н., проф. А.В. Тюхтин, д.ф.-м.н., проф. Н.Н. Зернов, д.ф.-м.н., проф. В.А. Павлов, д.ф.-м.н., проф. Г.Ф. Ременец, д.ф.-м.н., проф. Ю.К. Стишков, д.ф.-м.н., в.н.с. М.А. Бисярин, к.ф.-м.н., доцент Т.Ю. Алехина, к.ф.-м.н., доцент С.Н. Галямин, к.ф.-м.н., доцент В.Э. Герм, к.ф.-м.н., доцент Г.А. Дружинин, к.ф.-м.н., доцент И.И. Кононов, к.т.н., доцент А.В. Самусенко, к.ф.-м.н., доцент Н.Г. Семенова, к.ф.-м.н., с.н.с. А.Г. Ступишин, к.ф.-м.н., ст. преп. Л.Н. Лутченко, PhD, с.н.с. Н.Ю. Заалов, к.ф.-м.н., н.с. В.В. Воробьев, к.ф.-м.н., н.с. Е.В. Москалева, ст. преп. Б.Е. Грачев (всего 19 человек из 28 человек состава кафедры).

В выступлениях была дана положительная оценка диссертационной работы, отмечена актуальность поставленных задач, высокий профессиональный уровень проведенных исследований.

Выступлений с отрицательной оценкой не было.

Результаты диссертации полноценно изложены в работах, опубликованных соискателем.

Диссертация соответствует пунктам 2 и 6 паспорта специальности 01.04.03 – радиофизика, отрасль физико-математические науки.

Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 N 335, от 02.08.2016 N 748, от 29.05.2017 N 650, от 28.08.2017 N 1024, от 10.10.2018 № 1168).

Заслушав доклад Павловского А.С. об основных положениях выполненной диссертации, рассмотрев и обсудив диссертацию, представляемую автором на защиту, кафедра радиофизики постановила:

1. Считать, что диссертационная работа Павловского А.С. является законченным научно-квалификационным трудом и имеет научную и практическую ценность.

2. Диссертация «Поля нестационарных нелинейных вязких волн, возбужденных источниками конечных размеров» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Заключение принято на заседании кафедры радиофизики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Присутствовало на заседании 19 чел. Результаты голосования: «за» - 19, «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 20 от «25» декабря 2018 г.

Заведующий кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор



А. В. Тютин

Ученый секретарь кафедры  
к.ф.-м.н., доцент



Т. Ю. Алехина