

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук



к.г.н. В.Б. Лобанов



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Кияшко Сергея Борисовича "Эволюция продольных упругих волн в
микронеоднородных средах с сильной акустической нелинейностью",
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.06 – акустика.

Диссертация посвящена одной из наиболее актуальных тем бурно развивающейся в настоящее время нелинейной акустики – вопросу о неклассических проявлениях микроструктурно обусловленной нелинейности упругих сред и эволюции продольных упругих волн в таких средах. Нелинейные волновые процессы, сопровождающие распространения интенсивных акустических волн в микронеоднородных твердых телах обсуждаются в последнее время в научной литературе достаточно активно. Это связано с широкой распространенностью таких сред в природе и технике и их относительно высокой акустической нелинейностью. Действительно, многие горные породы, металлы, бетоны, керамики и т.д. имеют мезомасштабную структуру, содержащую различные микродефекты (полости, трещины, дислокации, зерна и т.д.), что позволяет рассматривать подобные материалы в соответствующем частотном диапазоне, как микронеоднородные (мезоскопические) среды. Структурные свойства таких сред приводят к

разнообразию их уравнений состояния и, соответственно, к значительным отличиям закономерностей нелинейных волновых процессов, при этом в микронеоднородных средах имеют место нелинейные эффекты, не описываемые в рамках “классической” пяти (или девяти-) константной теории упругости, применимой для описания деформирования однородных твердых тел.

Наряду с чисто теоретическими вопросами исследование нелинейных акустических эффектов в микронеоднородных средах, обладающих сильной акустической нелинейностью, важно для разработки перспективных методов неразрушающего контроля подобных сред.

В этой связи автор ставит целью своей диссертации изучение эволюции продольных упругих волн и нелинейных волновых процессов в микронеоднородных телах, уравнения состояния которых описываются неаналитическими функциями и содержат релаксационную (реактивную и диссипативную), разномодульную и гистерезисную нелинейности.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, общим объемом 123 страницы, включая 68 рисунков. В первой главе получено уравнение состояния пористого водоподобного материала, содержащего систему капилляров частично заполненных вязкой жидкостью и исследуются нелинейные акустические эффекты в такой среде. Во второй главе исследуется распространение акустических волн в диссипативных и релаксирующих средах с разномодульной нелинейностью. В третьей главе рассматривается распространение периодических волн и импульсных возмущений в безграничных средах и резонаторах с гистерезисной нелинейностью.

Автором получен целый ряд новых и значимых результатов, среди которых следует отметить следующие результаты, являющимися основными по перечисленным выше главам.

Предложена модель пористого водоподобного материала, содержащего цилиндрические капилляры, частично заполненные вязкой жидкостью и получено его уравнение состояния. Показано, что такая среда обладает сильной (релаксационной упругой и неупругой) акустической нелинейностью, обусловленной нелинейной зависимостью капиллярного и вязкого давлений в жидкости от диаметра капилляра.

Получены волновые уравнения для диссипативных и релаксирующих сред с разномодульной нелинейностью и их точные решения для самоподобных импульсных и периодических волн. Показано, что в разномодульной среде с вязкой диссипацией и в микронеоднородной разномодульной среде, характеризующейся дисперсией нелинейности, профили самоподобных волн не содержат неоднозначностей, в то время как в среде с безынерционной нелинейностью и релаксацией распространение волн (достаточно высоких частот) может сопровождаться образованием неоднозначности их профиля.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований эффектов амплитудно-зависимого внутреннего трения предложены модифицированные гистерезисные уравнения состояния, учитывающие насыщение нелинейных потерь в поликристаллических твердых телах. Получены точные решения, описывающие распространение однополярных импульсных возмущений и периодических волн в таких средах.

Диссертация является теоретической, изложение материала в целом ясное и компактное. Тем не менее, следует сделать ряд замечаний.

Общее замечание относится к излишней краткости описания формулируемых моделей. При анализе результатов диссертации это порождает определенные трудности в понимании сути моделей и, главное, в оценках их применимости.

Так, например, в первой главе рассматривается модель пористого водоподобного материала, содержащего тонкие цилиндрические капилляры, частично заполненные вязкой жидкостью и газом, для которой были написаны нелинейные уравнения в низкочастотном приближении. Основное внимание было сосредоточено на учете вязкости и динамики смачивания жидкостью тонких капилляров, однако не было сделано оценок значимости других механизмов, потенциально являющихся источниками нелинейности и диссипации в среде. Основу таких механизмов могут составить нелинейности и релаксации, связанные с сжимаемостью газа, а также с теплообменом между газом, жидкостью, стенками капилляра и другими капиллярами, которые в низкочастотном приближении могут эффективно участвовать в релаксации за счет теплообмена (изотермически-

изотермические, изотермически-адиабатические, адиабатико-адиабатические приближения для микронеоднородной среды).

Далее, не совсем очевиден вывод уравнения (1.22) для $\tilde{V}(\sigma)$ методом возмущений из уравнения (1.21) для $\sigma(\tilde{V})$, не указан порядок приближения и поэтому имеются разночтения в написании релаксационных слагаемых в (1.22), содержащих $D[f(t)]$. Сходные замечания относятся также к окончательному уравнению (1.25), полученного в рамках гомогенного приближения микронеоднородной водоподобной среды с капиллярами.

Очень интересные решения для распространения акустических волн в средах с разномодульной и гистерезисной нелинейностью выполнены в одномерном случае, который на практике не всегда реализуется в полной мере. Хотелось бы иметь оценки влияния расходимости акустических пучков на полученные решения, хотя бы в узколучевом приближении. Сопоставление с обычными квадратично нелинейными средами позволило бы гораздо яснее представить масштаб и преемственность полученных результатов для новых неклассических нелинейных сред.

Оформление диссертации в целом хорошее. Вместе с тем наличие большого количества формул порой приводило автора к использованию одних и тех же обозначений, правда, в разных разделах диссертации. Например, под термином α в первой главе понимается коэффициент поверхностного натяжения, а во второй главе это уже коэффициент вязкости. Также безразмерный параметр $\gamma = 2\alpha \cos \theta / \mu R$ из первой главы превратился в обозначение γ - параметр разномодульной нелинейности во второй главе.

Отмеченные недостатки, однако, не снижают общей высокой оценки проведенных Кияшко С.Б. теоретических и численных исследований нелинейных волновых процессов в микронеоднородных средах. Развитые в диссертации методы являются оригинальными, а полученные в ходе исследований результаты имеют как научное, так и практическое значение.

Основные результаты, лежащие в основе диссертации, опубликованы в десяти авторитетных рецензируемых научных журналах и докладывались на представительных Российских научных конференциях и семинарах.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация Кияшко С.Б. "Эволюция продольных упругих волн в микронеоднородных средах с сильной акустической нелинейностью" представляет собой законченное научное исследование, научная новизна и достоверность результатов которого не вызывают сомнений.

Основные результаты диссертации могут быть использованы при проведении научных исследований во многих научных организациях, в частности, в Институте прикладной физики РАН, Акустическом институте им. Н.Н. Андреева, Институте общей физики РАН, ТОИ ДВО РАН, Московском государственном университете им М.В. Ломоносова, Московском инженерно-физическом институте и Нижегородском государственном университете им.Н.И. Лобачевского.

Диссертационная работа Кияшко Сергея Борисовича отвечает критериям пункта 9 "Положения о порядке присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – «акустика».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации,

Диссертационная работа Кияшко С.Б. рассмотрена и одобрена на заседании научно-квалификационного Акустического семинара ТОИ ДВО РАН 31 мая 2016 г, протокол № 4, под руководством чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Г.И. Долгих.

Отзыв составил:

д.ф.-м.н., зав.лаб. гидрофизики ТОИ ДВО РАН,



В.А. Буланов

Адрес, г.Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: bulanov@poi.dvo.ru
Тел. (423)2374913 - раб. ТОИ

Подпись Буланова В. А. заверяю:

Ученый секретарь ТОИ ДВО РАН,

к.т.н.



Н. И. Савельева