

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Азовцева Андрея Валерьевича на диссертацию Гарбузова Федора Евгеньевича на тему «Моделирование нелинейных волн и солитонов деформации в упругих и вязкоупругих телах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «физика конденсированного состояния»

Изучение нелинейных свойств практически важных материалов, например, полимеров и композитов на их основе, является одной из актуальных современных задач. Нелинейные упругие свойства материалов важны для точного описания таких явлений, как генерация дополнительных акустических гармоник, образование солитонов деформации, изменение скорости акустических волн в зависимости от приложенных нагрузок. Изучение этих явлений важно как с фундаментальной точки зрения, так и для практических приложений, связанных, например, с оценкой усталости материалов.

Полное описание акустических и механических свойств многих материалов невозможно без учета вязкоупругих эффектов. Для этого широко применяются стандартные линейные модели, в то время как влияние нелинейных вязкоупругих эффектов на распространение волн деформации является предметом продолжающихся исследований. В представленной работе решен ряд вопросов, касающихся моделирования солитонов деформации в нелинейно-упругих стержнях, а также построена модель нелинейного вязкоупругого тела, позволившая описать недавно полученные экспериментальные данные о частотной зависимости нелинейных модулей упругости. Таким образом, актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы его цель и задачи, теоретическая и практическая значимость, достоверность, научная новизна и положения, выносимые на защиту; приведен список публикаций и конференций, где были изложены результаты работы.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации, включающий как классические работы, так и современные исследования, касающиеся солитонов деформации и других нелинейных эффектов, возникающих при распространении акустических волн.

Вторая глава посвящена моделированию волн малой, но конечной амплитуды в абсолютно упругих волноводах. Описанный в литературе дисперсионный анализ длинных волн в стержнях конечной толщины, выполненный в рамках линейной теории, был обобщен на случай нелинейно-упругого стержня. Это позволило уточнить дисперсионные члены в нелинейной волновой модели (уравнении типа Буссинеска). Прделанный для этого асимптотический анализ был расширен для учета нелинейных эффектов более высокого порядка, проявляющихся, когда в упругие силы вносят вклад не только линейные и квадратичные по деформации слагаемые, но и кубические. В результате было получено уравнение Гарднера. Показано, что точные солитонные решения асимптотических одномерных моделей согласуются с результатами трехмерного численного моделирования полных нелинейных уравнений движения.

Третья глава посвящена распространению волн в нелинейных вязкоупругих материалах. При помощи численного моделирования изучено зарождение длинной уединенной волны,

вызванное кратковременным воздействием на торец нелинейно-упругого стержня из полистирола. Показано, что для согласования результатов расчета с экспериментальными данными необходимо учесть вязкие свойства материала. Одним из основных результатов главы является разработка модели нелинейного вязкоупругого тела, описывающей частотную зависимость нелинейных модулей упругости. Показано, что данная модель позволяет описать экспериментально наблюдающуюся частотную зависимость акустоупругого эффекта в некоторых типах полистирола. В рамках модели показано влияние частотной зависимости нелинейных модулей на генерацию высшей гармоники.

Четвертая глава посвящена описанию реализации многодоменного псевдоспектрального метода, применявшегося для моделирования трехмерных нелинейных уравнений движения вязкоупругого тела. Продемонстрирована спектральная (экспоненциальная) скорость сходимости метода, что говорит о достоверности представленных в работе результатов численного моделирования.

Таким образом, в диссертации решен ряд связанных между собой задач и получены новые теоретические результаты, достоверность которых подтверждается численными расчетами и экспериментальными данными. Полученные в работе результаты дополняют и уточняют теорию волн деформации в нелинейных упругих и вязкоупругих телах и могут иметь практическое применение для создания новых и модификации существующих методов неразрушающего контроля материалов.

В процессе изучения диссертационной работы у меня возникло несколько вопросов:

1) Насколько применимо приближение изотропной упругости к основным материалам, связанным с будущим практическим применением результатов данной работы, а именно, к полистиролам и биологическим мягким тканям?

2) В ходе чтения работы мне было не совсем ясно, как появился четвёртый модуль упругости Мурнагана h в построении нелинейно-вязкоупругой модели. Хотелось бы услышать более детальное объяснение этого момента.

Перечисленные замечания не умаляют научную значимость и высокую оценку диссертационной работы. Считаю, что диссертационная работа Гарбузова Федора Евгеньевича «Моделирование нелинейных волн и солитонов деформации в упругих и вязкоупругих телах» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния» согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Гарбузов Федор Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории динамики материалов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН

Адрес места работы:
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

Контактные данные:
Тел.: 292-7172
E-mail: azovtsev@mail.ioffe.ru

Азовцев Андрей Валерьевич
« 14» октября 2024 г.

Подпись Азовцева А.В. удостоверяю

Ученый секретарь,
к.ф.-м.н.

М.И. Патров