

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Антонова Артема Михайловича
«Дисперсионные свойства поверхностных волн Рэлея,
распространяющихся на границах неклассических упругих
полупространств», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»**

Актуальность темы. Диссертационная работа посвящена постановке, решению и исследованию полученных результатов цикла задач о распространении поверхностных волн Рэлея в неклассических упругих полупространствах, в том числе с поврежденностью материала. Дисперсионные свойства поверхностных волн в классическом упругом изотропном полупространстве достаточно хорошо изучены, чего нельзя сказать о средах, которые состоят не из материальных точек, а из бесконечно малых объемов (частиц). Отличительной особенностью таких сред при описании напряженно-деформированного состояния заключается в появлении вторых градиентов вектора перемещений, тензора моментных напряжений, несимметричного тензора напряжений, а также наличии равномерно распределенной поврежденности в материале. Изучение распространения волн Рэлея в данных моделях весьма актуально так как именно эти модели позволяют наиболее точно описывать реальные протекающие волновые процессы и использовать их для решения практических задач в различных областях (неразрушающий контроль, акустоэлектроника, машиностроение и др.).

Обоснованность и достоверность научных положений обеспечиваются корректным использованием законов механики и математических методов. Результаты диссертации прошли апробацию в ЗАО «НИЦ КД», по результатам которой получен акт внедрения.

Научная новизна. Поставленная цель работы – развитие волновой динамики механических систем в части изучения особенностей

распространения упругих поверхностных волн применительно к проблемам скоростного транспорта, неразрушающего контроля и технологии машиностроения, достигнута автором путем получения следующих основных научных результатов: разработана математическая модель с поврежденностью материала, позволяющая описывать распространение поверхностных волн вдоль свободной от напряжений границы полупространства. Показано, что математическая модель сводится к комплексному дисперсионному уравнению. Исследованы дисперсионные и диссипативные свойства поверхностных волн. Выявлены способности поверхностных волн Рэлея распространяться со скоростью, достигающей и превышающей скорости сдвиговых волн в материале. Показано, что поверхностные волны в обобщенных континуумах обладают дисперсией и в плоскости «фазовая скорость - частота» для таких волн существует две дисперсионных ветки, а в материале с поврежденностью дисперсия имеет аномальный характер. В задачах о возбуждении волн движущимся источником показано, что амплитуды перемещений неограниченно возрастают при приближении скорости источника к скорости сдвиговой волны. Установлено, что продольная компонента вектора перемещения может превосходить поперечную. Показано, что при движении источника на высоких скоростях образуется коническая поверхность (конус Маха).

Практическая значимость. Полученные результаты использованы в стандартах по диагностике и оценке прочности технических изделий ГОСТ 35003-2023 и ГОСТ Р (имеется акт внедрения). Помимо этого, результаты могут быть востребованы в сейсмологии и акустоэлектронике.

Структура и содержание диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения, содержащего акт внедрения результатов работы. Она содержит 122 страницы, 32 рисунка, список литературы включает 136 наименований.

Во введении кратко изложены основные понятия, цель и задачи диссертационной работы, методы исследования, сведения о структуре диссертации, апробации работы, ее теоретической и практической значимости, основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены основные закономерности распространения волн Рэлея, Стоунли, Лява, Гуляева-Блюстейна и Лэмба. Проведен анализ дисперсионных уравнений, описано решение уравнения Ламе для поверхностных волн Рэлея.

Во второй главе проведено исследование распространения поверхностных волн в градиентно-упругом полупространстве. Получены дисперсионные уравнения, проведен их анализ, выявлены способности поверхностных волн Рэлея распространяться со скоростью, достигающей скорости сдвиговых волн в материале. При возбуждении волн движущимся источником установлены зависимости амплитуд перемещений и напряжений от величины и скорости движения источника возмущений. Описана поверхность конуса Маха, образующаяся при движении нормальной нагрузки.

Во третьей главе проведено исследование распространения поверхностных волн в редуцированной среде Коссера и в среде с поврежденностью материала. Введено понятие редуцированной среды. Выявлены способности поверхностных волн Рэлея распространяться со скоростью, превышающей скорости сдвиговых волн в материале. Описана математическая модель с поврежденностью материала, состоящая из системы уравнений: динамическое уравнение теории упругости и кинетическое уравнение накопления повреждений в материале среды. Продемонстрирован аномальный характер дисперсии, а также зависимости фазовой и групповых скоростей от коэффициента поврежденности. Проведен комплексный анализ скоростных характеристик волн в градиентно-упругих полупространствах.

В заключении приведены основные результаты диссертации.

В приложении приведен акт апробации и использования результатов диссертации в стандартах по диагностике и оценке прочности технических изделий ГОСТ 35003-2023 и ГОСТ Р.

Апробация. Основные положения диссертации прошли апробацию (получен акт внедрения) в ЗАО «НИЦ КД», по результатам которой получен акт внедрения. Также опубликовано 17 научных статей, в том числе в уважаемых научных отечественных и иностранных изданиях (БАК, Scopus, WoS). Результаты работы докладывались на известных научных семинарах, на российских и международных конференциях.

Замечания:

1. На стр. 87 сказано, что наличие комплексного дисперсионного уравнения (3.3), связывающего частоту и волновое число, однозначно требует, чтобы волновое число было комплексным. Но это не так. Возможны случаи, когда комплексной уместно выбирать частоту, а волновое число оставлять действительным (так принято при решении задач Коши), или, как это сделано в диссертации, при действительной частоте комплексным выбирать волновое число (так принято при решении краевых задач).

2. Последняя часть третьей главы посвящена обобщенному сравнительному анализу скоростей распространения волн в неклассических упругих полупространствах. Обобщенный сравнительный анализ других характеристик, например, компонент перемещений и напряжений, не приводится.

3. В тексте имеются опечатки. Например, на стр. 86 ротор вместо *rot* обозначен как *ror*.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследования, не влияют на основные результаты диссертации.

Заключение. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Достигнутые результаты представляют собой глубокий анализ свойств поверхностных волн Рэлея в цикле задача градиентно упругого континуума. Имеют теоретическое и практическое значение, положительные результаты апробации и внедрения в национальный и государственный стандарты.

Диссертация отвечает требованиям пп. 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013, № 842), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Антонов Артем Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
Нижегородского государственного технического университета
им. Р.Е. Алексеева, руководитель НИЛ «Нанотехнологии в
машиностроении»
Института промышленных технологий машиностроения


10.12.2013

Кабалдин Ю.Г.

Подпись Кабалдин Юрий Георгиевич заверяю:
Директор ИПТМ к.т.н., доцент



Контактные данные:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский политехнический университет им. Р.Е. Алексеева»
Адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24
Тел.: (831) 436-63-07
e-mail: uru.40@mail.ru